MINUNATA LUME A DOMNULUI TOMPKINS

GEORGE GAMOW (GHEORGHI ANTONOVICI GAMOV) s-a născut în 1904 la Forben, în Rusia (azi, în Ucraina). Şi-a făcut studiile universitare la Odessa, apoi la Leningrad. La Göttingen a luat contact cu cercetările din mecanica cuantică şi s-a orientat spre fizica nucleară (el este cel care a propus modelul „picătură" pentru nucleu). Între 1928 şi 1931 a lucrat la Institutul de Fizică Teoretică de la Copenhaga, devenit, graţie lui Niels Bohr, cel mai important centru de fizică teoretică. A avut de asemenea ocazia să lucreze cu Ernest Rutherford la Laboratorul Cavendish de la Cambridge. În 1928 a explicat dezintegrarea alfa prin „efectul tunel". După câţiva ani petrecuţi în Uniunea Sovietică, a înţeles că nu poate trăi sub regimul comunist şi a încercat în două rânduri să fugă din ţară (prin Turcia, apoi prin Norvegia), dar vremea rea l-a împiedicat. A reuşit în fine să ajungă în 1933, împreună cu soţia (şi ea fizician), la Conferinţa Solvay de la Bruxelles, pentru ca anul următor să plece în America, unde a început să lucreze la Universitatea George Washington. Împreună cu studentul său Ralph Alpher a publicat în 1948 o lucrare fundamentală în cosmologie, cunoscută ca Teoria Alpher-Bethe-Gamow (fizicianul german Hans Bethe n-avea nici o legătură cu lucrarea, dar Gamow i-a adăugat numele ca să aibă primele trei litere ale alfabetului grec). Era una din pietrele de temelie la modelul big bang, iar predicţiile lui Gamow aveau să fie confirmate abia în 1964 prin descoperirea radiaţiei cosmice de fond. A murit în 1968 la Boulder, Colorado.

În afara contribuţiilor sale excepţionale în fizică, Gamow a fost în toate privinţele un om ieşit din comun: înalt de peste 1,90 m, cântărind peste 100 kg, cu un simţ al umorului deconcertant, cu reale talente artistice şi cu pasiunea de a explica fizica neiniţiaţilor. Această din urmă trăsătură l-a îndemnat să scrie numeroase cărţi de popularizare, între care: *The Birth and Death of the Sun* (1940), *The Biography of the Earth* (1941), *One, Two, Three... Infinity* (1947), *Biography of Physics* (1961), *Gravity* (1962), *A Planet Called Earth* (1963), *A Star Called the Sun* (1964), *Thirty Years That Shook Physics: The Story of Quantum Theory* (1966), *Mr. Tompkins in Wonderland* (1940), *Mr. Tompkins Explores the Atom* (1945), *Mr. Tompkins Learns the Facts of Life* (1953).

RUSSELL STANNARD s-a născut la Londra în 1931. A studiat fizica la Londra, apoi la Los Angeles. Cariera sa de fizician nuclearist s-a împletit cu cea de scriitor. E unul dintre cei mai reputaţi autori de cărţi de ştiinţă popularizată adresate copiilor. Între ele, celebra *Uncle Albert Trilogy*, care prezintă într-o manieră accesibilă opera lui Einstein.

GEORGE GAMOW
RUSSELL STANNARD

Minunata lume a domnului Tompkins

Povestea fantastică a fizicii

Traducere din engleză de
ANCA VIŞINESCU

HUMANITAS
BUCUREŞTI

Coperta
IONUŢ BROŞTIANU

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României
GAMOW, GEORGE
Minunata lume a domnului Tompkins / George Gamow, Russell Stannard; trad.: Anca Vişinescu. – Bucureşti: Humanitas, 2007
ISBN 978-973-50-1597-8

I. Stannard, Russell
II. Vişinescu, Anca (trad.)

53

GEORGE GAMOW, RUSSELL STANNARD
THE NEW WORLD OF MR TOMPKINS
© Cambridge University Press, 1999

© HUMANITAS, 2007, pentru prezenta versiune românească

EDITURA HUMANITAS
Piaţa Presei Libere 1, 013701 Bucureşti, România
tel. 021/317 18 19, fax 021/317 18 24
www.humanitas.ro
Comenzi CARTE PRIN POŞTĂ: tel. 021/311 23 30,
fax 021/313 50 35, C.P.C.E. – CP 14, Bucureşti
e-mail: cpp@humanitas.ro
www.librariilehumanitas.ro

Cuvânt înainte al autorului ediției revizuite

Cu siguranță puțini sunt fizicienii care să nu fi citit măcar o dată aventurile domnului Tompkins. Deși inițial destinată celor neinițiați, celebra introducere a lui Gamow în fizica modernă a avut un ecou larg, de durată. Eu însumi l-am privit întotdeauna pe domnul Tompkins cu cea mai mare afecțiune. Drept urmare, m-am bucurat când am fost rugat să aduc la zi această carte.

De multă vreme se simțea nevoia unei noi versiuni, dat fiind că s-au întâmplat atâtea în cei 30 de ani de la ultima ediție revăzută, mai ales în domeniul cosmologiei și al fizicii nucleare la energii înalte. Dar, la rescrierea acestei cărți, mi-a devenit limpede faptul că trebuia să fiu atent nu numai la aspectele legate de fizică.

De pildă, știrile de la Hollywood nu mai pot fi privite doar ca „interminabile povești romanțate despre staruri de succes". Apoi, cum să prezinți mecanica cuantică prin exemplul împușcării unui tigru, în momentul în care lumea noastră modernă e atât de preocupată de speciile pe cale de dispariție? Și ce mai poți spune despre Maud cea „îmbufnată", fiica profesorului, „cufundată în *Vogue*", dorindu-și „un vizonaș drăgălaș" și căreia i se spune „șterge-o, fetițo" atunci când pomenește de fizică. E greu să găsești tonul potrivit într-un moment în care se fac eforturi susținute pentru a convinge fetele să studieze fizica.

Apar apoi dificultăți în ce privește povestirea. Gamow merită toată stima pentru modul inovator în care a prezentat fizica folosindu-se de o poveste, dar narațiunea are și punctele ei slabe. De pildă, în repetate rânduri domnul Tompkins află mai

întâi despre fizica modernă din vise, înainte de a fi avut ocazia să se întâlnească cu aceste idei (fie şi subliminal) prin situaţii din viaţa reală legate de lecţii ori de discuţiile cu profesorul. Sau să luăm cazul vacanţei la mare. A adormit în tren şi a visat că profesorul îl însoţeşte în călătorie. Mai departe reiese că de fapt profesorul chiar se afla în vacanţă cu el, iar domnul Tompkins se temea că profesorul îşi va aminti cum s-a făcut el de râs în tren — în vis?!

În unele momente, explicaţiile fizice nu sunt atât de limpezi pe cât ar fi putut fi. De exemplu, legat de pierderea relativistă a simultaneităţii pentru evenimente ce se desfăşoară în locuri diferite, este prezentată o situaţie în care observatori din două nave spaţiale trebuie să-şi compare rezultatele. În loc să adopte unul din aceste două sisteme de referinţă, problema este transferată unui al treilea sistem de referinţă, în care se mişcă ambele nave. De asemenea, relatarea împuşcării şefului de gară, în timp ce hamalul părea să citească ziarul la celălalt capăt al peronului, nu stabileşte de fapt nevinovăţia acestuia — aşa cum se pretinde. (Povestea ar fi trebuit să excludă posibilitatea ca hamalul să fi tras cu pistolul înainte de a se fi aşezat să citească ziarul.)

Se mai pune şi întrebarea ce-i de făcut cu „opera cosmică". Ideea punerii în scenă la Covent Garden a unei astfel de lucrări era şi la data primei ediţii una forţată. Acum ne aflăm însă şi în faţa dificultăţii suplimentare că subiectul operei — rivalitatea între teoria marii explozii şi teoria universului staţionar — nu mai poate fi considerat acceptabil, rezultatele experimentale tranşând chestiunea în favoarea big bang-ului. Totuşi, excluderea acestui vesel şi ingenios interludiu ar fi o mare pierdere.

Altă problemă priveşte ilustraţiile. *Cărticica Domnului Tompkins* a fost ilustrată în parte de John Hookham şi în parte de Gamow însuşi. Pentru a prezenta ultimele descoperiri din fizică era nevoie de o nouă serie de ilustraţii, aşadar de un al treilea artist. Să acceptăm ca rezultat o eventuală nepotrivire de stiluri sau să adoptăm o cu totul altă abordare?

În lumina acestor considerații, a trebuit făcută o alegere: aș fi putut să mă mulțumesc cu o rescriere minimală, în care doar să corectez fizica și să închid ochii asupra altor puncte slabe, sau să iau taurul de coarne și să fac treaba până la capăt.

Am ales ultima variantă. A trebuit lucrat la toate capitolele. Capitolele 7, 15, 16 și 17 sunt în întregime noi. De asemenea, am considerat că e bine să adaug un glosar. Modificările detaliate pe care le-am propus au primit acordul familiei Gamow, al editorilor și al echipei lor de consultanți — cu notabila excepție a unui consultant care era de părere să nu ne atingem de textul original. Această primă disensiune a fost un semnal că nu voi fi pe placul tuturor! Evident, vor exista întotdeauna persoane care vor prefera originalul — ceea ce e absolut normal.

În ce privește această versiune, ea se adresează în primul rând celor care au făcut deja cunoștință cu domnul Tompkins. Încercând să rămână în spiritul și abordarea originalului lui Gamow, cartea își propune să incite și să se adreseze următoarei generații de cititori. Prin urmare, aș vrea să cred că este versiunea pe care însuși George Gamow ar fi scris-o dacă ar mai lucra în ziua de azi.

Mulțumiri

Îi datorez mulțumiri lui Michael Edwards pentru însuflețirea textului cu inspiratele sale ilustrații. Îi sunt recunoscător lui Matt Lilley pentru comentariile constructive la fiecare primă versiune a textului. Apreciez mult încurajarea și sprijinul pe care le-am primit din partea familiei Gamow.

Prefața lui Gamow la *Cărticica domnului Tompkins*

În iarna lui 1938 am scris o scurtă povestioară ştiinţifică şi fantastică (nu ştiinţifico-fantastică) în care am încercat să explic pentru nespecialişti ideile de bază ale teoriei curbării spaţiului şi ale expansiunii universului. Am hotărât să fac asta exagerând fenomenele relativiste existente, într-o asemenea măsură încât să fie văzute cu uşurinţă de eroul poveştii noastre, C.G.H. Tompkins*, funcţionar la o bancă, interesat de ştiinţa modernă.

Am trimis manuscrisul la *Harper's Magazine* şi, la fel ca alţi începători în ale scrisului, l-am primit înapoi cu menţiunea: respins. Am încercat la alte câteva reviste şi a avut aceeaşi soartă. Atunci am pus manuscrisul într-un sertar al biroului şi am uitat de el. În vara aceluiaşi an am participat la Conferinţa Internaţională de Fizică Teoretică, organizată de Liga Naţiunilor la Varşovia. Stăteam la taclale cu vechiul meu prieten Sir Charles Darwin, nepotul lui Charles (*Originea Speciilor*) Darwin, la un excelent pahar de mied polonez, iar conversaţia a ajuns la popularizarea ştiinţei. I-am povestit lui Darwin despre ghinionul meu în direcţia asta, iar el mi-a zis: „Uite, Gamow, când te întorci în Statele Unite găseşte manuscrisul şi trimite-l la Dr. C.P. Snow, editorul revistei de ştiinţă popularizată *Discovery*, publicată de Cambridge University Press."

---

* Iniţialele domnului Tompkins îşi au originea în trei constante fizice fundamentale: viteza luminii c, constanta gravitaţională G şi constanta cuantică h, care ar trebui să fie mărită de un imens număr de ori ca să aibă efecte vizibile pentru omul de pe stradă. (*N. a.*)

Aşa am făcut şi exact o săptămână mai târziu a sosit o telegramă de la Snow: „Articolul dumneavoastră va fi publicat în următorul număr. Vă rugăm, mai trimiteţi." Astfel au apărut o serie de povestiri cu domnul Tompkins, care popularizau teoria relativităţii şi mecanica cuantică, în numere consecutive ale revistei *Discovery*. Curând după aceea am primit o scrisoare de la Cambridge University Press, sugerând că aceste articole, împreună cu alte câteva povestiri care să sporească numărul de pagini, ar putea fi publicate într-o carte. Cartea, numită *Domnul Tompkins în ţara minunilor*, a fost publicată de Cambridge University Press în 1940 şi de atunci încoace a fost retipărită de şaisprezece ori. Această carte a fost urmată de o continuare, *Domnul Tompkins explorează atomul,* publicată în 1944 şi retipărită de nouă ori. În plus, aceste cărţi au fost traduse în mai toate limbile europene (excepţie făcând rusa), precum şi în chineză şi hindi.

Ar mai trebui să spun câteva cuvinte despre ilustraţii. Articolele originale din *Discovery* şi din primul volum au fost ilustrate de domnul John Hookham, care a creat trăsăturile domnului Tompkins. Când am scris al doilea volum, domnul Hookham renunţase la munca de ilustrator, astfel că m-am hotărât să ilustrez eu însumi cartea, urmând stilul lui Hookham. Noile ilustraţii din volumul de faţă sunt de asemenea ale mele. Versurile şi cântecele din acest volum sunt scrise de soţia mea, Barbara.

G. GAMOW
Universitatea Colorado, Boulder, Colorado, SUA

1 Limita de viteză în oraş

Era într-o zi de sărbătoare, iar domnul Tompkins, mic funcţionar de la o mare bancă, a dormit până târziu şi şi-a luat micul dejun în tihnă. Încercând să-şi facă un plan pentru acea zi, primul gând a fost să se ducă la un film după-amiază. Deschizând ziarul local, a căutat la pagina de divertisment. Nici unul dintre filmele anunţate nu-l atrăgea. Detesta obsesia generală — sex şi violenţă. În rest, obişnuitele excursii pentru copii din zilele de vacanţă. Dacă ar fi fost măcar un film cu aventuri reale, cu ceva neobişnuit şi poate incitant. Dar nu era nici unul.

Întâmplarea a făcut să-i cadă ochii pe o mică notiţă din colţul paginii. Universitatea din oraş anunţa o serie de conferinţe despre problemele fizicii moderne. Lecţia din această după-amiază urma să fie despre teoria relativităţii a lui Einstein. Ei, asta ar putea fi ceva! Auzise de mai multe ori că doar o duzină de oameni din întreaga lume înţeleg cu adevărat teoria lui Einstein. Poate va fi el al treisprezecelea! S-a hotărât să meargă la conferinţă; ar putea fi exact ce căuta.

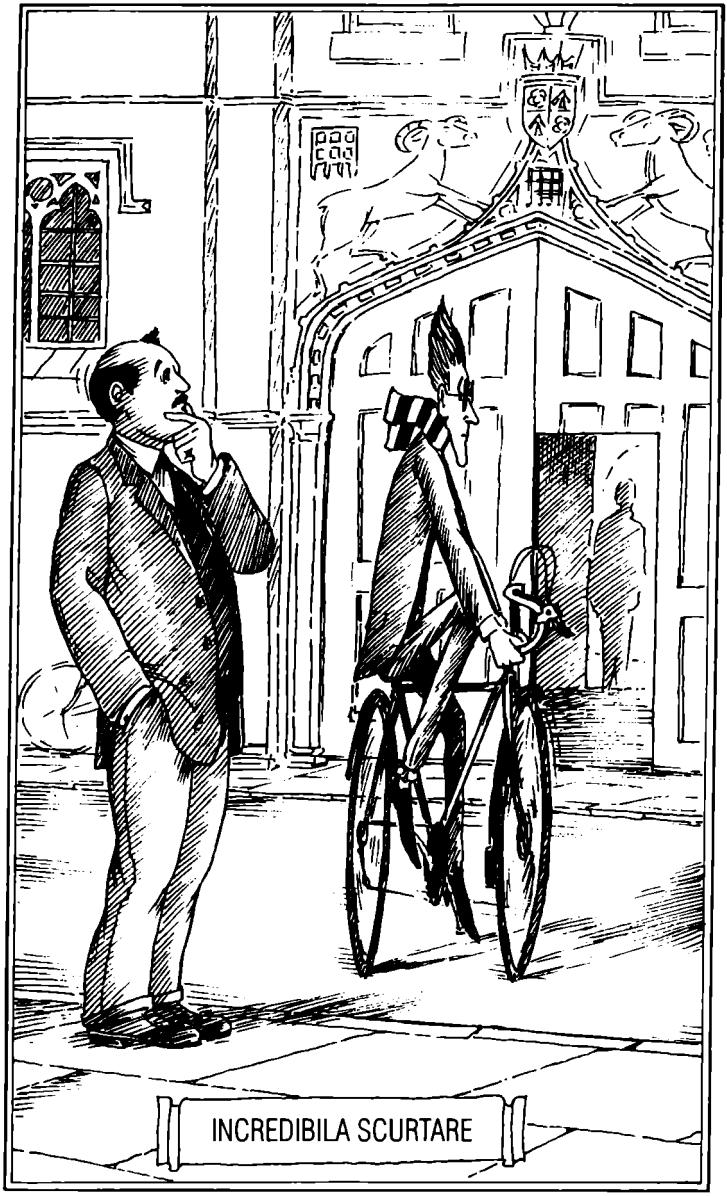
Când a ajuns în amfiteatrul marii universităţi, conferinţa începuse. Sala era plină de studenţi tineri. Erau însă şi câţiva oameni mai în vârstă, făcând probabil parte, ca şi el, din public. Îl ascultau cu atenţie încordată pe un bărbat înalt, cu barbă albă, care stătea lângă un retroproiector. El explica publicului ideile de bază ale teoriei relativităţii.

Domnul Tompkins a ajuns să înţeleagă că punctul esenţial al teoriei lui Einstein e existenţa unei viteze maxime, viteza luminii, care nu poate fi depăşită de nici un alt obiect material în mişcare. Acest fapt conduce la consecinţe foarte stranii şi neobişnuite. De pildă, când te mişti cu viteze apropiate de viteza luminii, riglele care măsoară lungimea se contractă, iar ceasurile încetinesc. Profesorul a precizat că, oricum, viteza luminii fiind 300 000 km pe secundă (adică 186 000 mile pe secundă), aceste efecte relativiste nu prea pot fi observate în împrejurările vieţii de zi cu zi.

Domnului Tompkins i s-a părut că toate astea contrazic bunul-simţ. Încerca să-şi închipuie cum ar arăta efectele relativiste, iar capul i-a căzut greu în piept...

Când a deschis din nou ochii era singur, şezând nu într-o sală de curs, ci pe una din băncile instalate de municipalitate pentru confortul pasagerilor care aşteaptă autobuzul. Era un oraş vechi şi frumos, cu clădirile unui colegiu medieval aliniate la stradă. A bănuit că visează, dar nu se întâmpla nimic neobişnuit. Limbile marelui ceas din turnul colegiului de peste drum arătau ora cinci.

Strada era aproape pustie — cu excepţia unui biciclist care se îndrepta încet spre el. Pe măsură ce se apropia, uimirea domnului Tompkins sporea. Bicicleta şi tânărul erau incredibil scurtaţi pe direcţia mişcării, ca şi cum i-ar fi privit prin lentile cilindrice. Ceasul din turn a bătut ora cinci, iar biciclistul, evident grăbit, a pedalat mai viguros. Domnul Tompkins n-a observat vreo creştere semnificativă a vitezei, dar, ca rezultat al efortului, biciclistul s-a scurtat încă şi mai mult, semănând cu un desen plat decupat din carton. Domnul Tompkins a priceput imediat ce păţise biciclistul — era vorba de contractarea corpurilor aflate în mişcare, despre care tocmai auzise. Era foarte mulţumit de sine. „Viteza limită din natură este probabil mai mică aici", a fost concluzia sa. „Cred că nu poate fi mai mare de 20 mile pe oră. În oraşul ăsta n-or să aibă nevoie


INCREDIBILA SCURTARE

de filmări cu încetinitorul." Într-adevăr, o ambulanţă a trecut în acel moment şi nu s-a descurcat mult mai bine decât biciclistul; cu girofarurile aprinse şi sirenele urlând, abia se târa.

Domnul Tompkins voia să fugă după biciclist şi să-l întrebe ce părere are de faptul că e atât de aplatizat. Dar cum să-l prindă din urmă? A văzut atunci o altă bicicletă sprijinită de zidul colegiului. Domnul Tompkins s-a gândit că era poate a unui student aflat la cursuri care nu-i va simţi lipsa dacă o va împrumuta pentru puţin timp. Asigurându-se că nu-l vede nimeni, a încălecat pe bicicletă şi a pornit în urmărirea celuilalt biciclist.

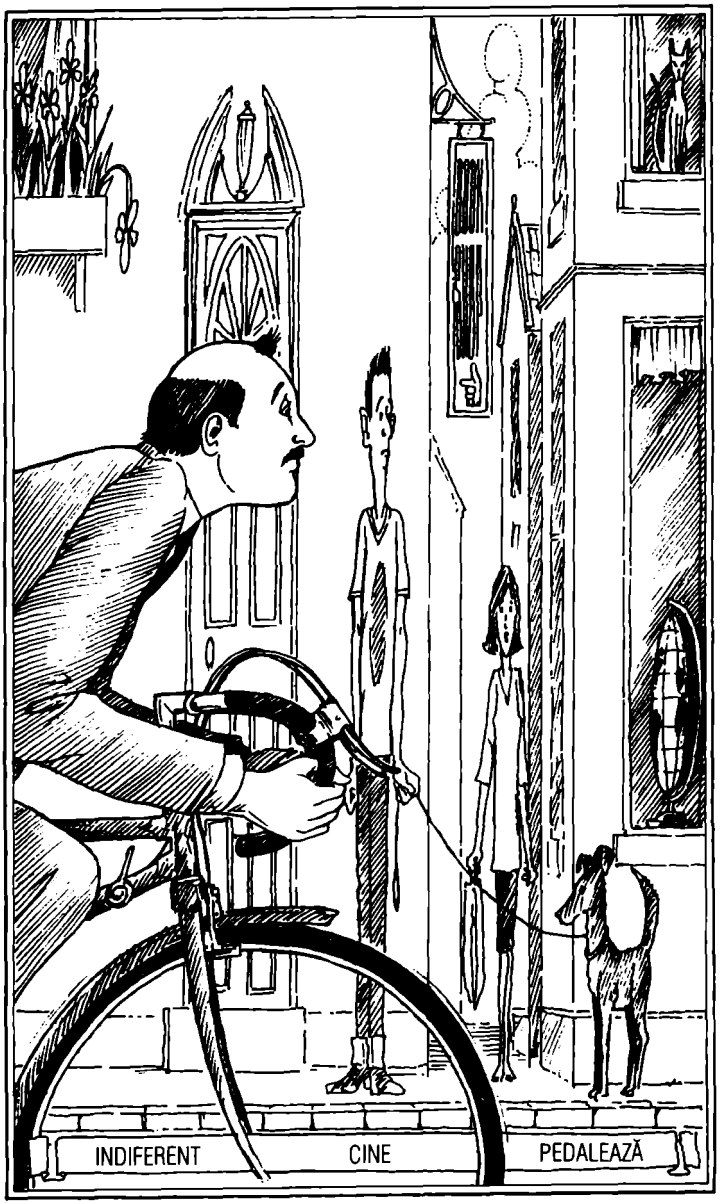
Bănuia că în noul său vehicul mişcarea îl va scurta imediat şi pe el, şi aştepta asta cu nerăbdare, mai ales că îl cam îngrijora faptul că se îngrăşase în ultimul timp. Spre surprinderea sa, nu s-a întâmplat nimic, atât el cât şi bicicleta lui au rămas la aceleaşi forme şi dimensiuni. Pe de altă parte, totul în jurul lui se schimbase complet. Străzile au devenit mai scurte, ferestrele magazinelor au devenit fante înguste, iar pietonii erau cei mai subţiri oameni pe care îi văzuse vreodată.

„Aha!" exclamă domnul Tompkins tulburat. „M-am prins. De aici vine numele de *relativitate.* Orice se mişcă în raport* cu mine îmi pare mai scurt — indiferent cine pedalează!"

Era un ciclist bun şi a făcut toate eforturile ca să-l ajungă din urmă pe tânăr. Şi-a dat seama însă că nu era deloc uşor să prinzi viteză pe bicicleta asta. Deşi pedala cât putea de tare, creşterea vitezei era aproape neglijabilă. Picioarele începuseră să-l doară, dar tot nu putea trece mult mai repede de felinarul din colţ decât ar fi făcut-o atunci când a început să pedaleze. Părea că toate eforturile de a se mişca mai repede erau zadarnice.

---

* În original, „moves relative to..." (se mişcă în raport cu...) trimite la *relativitate.* (*N. red.*)


INDIFERENT
CINE
PEDALEAZĂ

A început să înțeleagă de ce ambulanța nu se descurcase mult mai bine decât biciclistul. În clipa aceea și-a amintit ce spusese profesorul despre imposibilitatea depășirii limitei date de viteza luminii. A observat însă că, pe măsură ce pedala mai tare, clădirile deveneau încă și mai scurte. Biciclistul din fața lui nu mai părea acum așa departe — și într-adevăr într-un târziu a reușit să-l ajungă dn urmă. Pedalând unul lângă altul, s-a uitat și a văzut cu surprindere că atât biciclistul, cât și bicicleta arătau acum normal.

„Aha! Asta trebuie să se întâmple fiindcă acum nu ne mai mișcăm unul în raport cu celălalt", a tras el concluzia.

— Scuzați-mă, îl întrebă pe biciclist, nu vi se pare neplăcut să trăiți într-un oraș în care limita de viteză e atât de scăzută?

— Limită de viteză? se întoarse celălalt surprins. Nu avem nici o limitare de viteză aici. Pot ajunge oriunde cât de repede vreau, sau cel puțin aș putea, dacă aș avea o motocicletă în locul bicicletei acesteia vechi!

— Dar vă mișcați foarte încet atunci când ați trecut pe lângă mine ceva mai devreme, spuse domnul Tompkins.

— Eu n-aș numi asta încet, răspunse tânărul. Acesta e al cincilea bloc pe lângă care am trecut de când am început să vorbim. Nu-i suficient de repede pentru dumneavoastră?

— Ba da, dar asta numai pentru că blocurile și străzile sunt atât de scurte acum, protestă domnul Tompkins.

— Și care e diferența? Fie că noi ne mișcăm mai repede, fie că străzile devin mai scurte, rezultatul este același la urma urmei. Eu am de parcurs zece blocuri până la oficiul poștal. Dacă pedalez mai tare, blocurile devin mai scurte și ajung mai repede. De fapt, am și ajuns, spuse tânărul oprindu-se și descălecând.

Domnul Tompkins s-a oprit și el. S-a uitat la ceasul poștei; arăta cinci și jumătate.

— A! exclamă el triumfător. Ce v-am zis? Dumneavoastră chiar aţi mers încet. V-a luat o jumătate de oră să parcurgeţi distanţa a zece blocuri. Ceasul colegiului arăta exact ora cinci când aţi trecut pe lângă mine prima dată, iar acum e cinci şi jumătate!

— Aţi *simţit* această jumătate de oră? întrebă tovarăşul său de drum. Vi s-a părut că a trecut o jumătate de oră?

Domnul Tompkins a trebuit să recunoască faptul că nu i s-a părut deloc că ar fi trecut atâta timp, ci doar câteva minute. Mai mult, privindu-şi ceasul de la mână a văzut că arată cinci şi cinci.

— Vreţi să spuneţi că ceasul poştei merge înainte?

— Puteţi spune şi aşa, răspunse tânărul. Sau, firește, puteţi considera că ceasul dumneavoastră merge mai încet. S-a mişcat în raport cu ceasurile astea, nu-i aşa? La ce altceva vă aşteptaţi? zise el şi îl privi pe domnul Tompkins cu un fel de exasperare. Ce-i cu dumneavoastră? Păreţi picat de pe altă planetă.

Acestea fiind zise, tânărul dispăru în oficiul poştal.

Domnul Tompkins se gândea că era mare păcat că profesorul nu se afla prin preajmă pentru a-i explica lucrurile stranii care i se întâmplaseră. Tânărul era firește de prin partea locului şi trebuie să fi fost obişnuit cu situaţia asta încă înainte să înveţe să meargă. Aşa că domnul Tompkins era acum obligat să exploreze de unul singur această lume stranie. Şi-a potrivit ceasul după cel al poştei şi, ca să fie sigur că merge bine, a mai aşteptat zece minute. Arăta acum acelaşi timp ca ceasul poştei, aşa încât totul părea să fie în ordine.

Reluând drumul de-a lungul străzii, a ajuns la gară şi s-a hotărât să-şi verifice din nou ceasul, de data asta cu ceasul gării. Spre consternarea lui, rămăsese iar un pic în urmă.

„Aoleu, iarăşi relativitatea", trase concluzia domnul Tompkins. „Aşa se întâmplă de câte ori mă mişc. Ce neplăcut! Oricând şi oriunde te duci, să fii obligat să-ţi potriveşti mereu ceasul."

Chiar în acel moment, un domn bine îmbrăcat a ieşit din gară. Părea cam de patruzeci de ani. S-a uitat în jur, a recunoscut o doamnă în vârstă care aştepta pe trotuar şi s-a îndreptat spre ea. Spre marea surpriză a domnului Tompkins, ea i s-a adresat cu „dragă bunicule". Cum e posibil? Cum ar putea fi *el* bunicul *ei*?

Copleşit de curiozitate, domnul Tompkins se îndreptă spre cei doi şi întrebă timid:

— Scuzaţi-mă, vă rog. Am auzit eu bine? Chiar sunteţi bunicul doamnei? Iertaţi-mă, dar...

— Ah, îmi dau seama, spuse domnul zâmbind. Probabil că ar trebui să vă dau o explicaţie. Afacerile mă obligă să călătoresc mult.

Domnul Tompkins nu-şi revenea din uimire, aşa că străinul continuă:

— Petrec cea mai mare parte din viaţă în tren. Astfel că, firește, îmbătrânesc mult mai încet decât rudele mele care trăiesc în oraş. E o mare bucurie să mă-ntorc acasă şi s-o văd pe scumpa mea nepoţică. Dar îmi pare rău, trebuie să ne scuzaţi acum, vă rog...

A chemat un taxi şi l-a lăsat pe domnul Tompkins singur cu problemele lui.

Două sandviciuri de la bufetul gării l-au mai pus pe picioare. „Sigur", cugetă el sorbindu-şi cafeaua, „mişcarea încetineşte scurgerea timpului, de aceea îmbătrâneşte mai puţin. Şi toate mişcările sunt relative — aşa a spus profesorul — ceea ce înseamnă că el va apărea mai tânăr decât rudele sale, la fel cum rudele îi apar lui mai tinere. Bun. Am rezolvat-o şi pe asta."

Aici s-a oprit. A pus ceaşca jos. „Stai. Nu-i bine", gândi el. „Nepoata *nu* îi părea nici lui mai tânără; era mai bătrână. Părul alb nu e relativ! Ce înseamnă asta? Nu toate mişcările sunt relative?"

S-a hotărât să mai facă o încercare pentru a afla cum stau lucrurile şi s-a întors către singurul client din bufet — un bărbat în uniformă de feroviar.

— Scuzaţi-mă, vă rog, începu el, sunteţi bun să-mi explicaţi cine e răspunzător de faptul că pasagerii trenului îmbătrânesc mult mai încet decât lumea care rămâne pe loc?

— Eu sunt răspunzător pentru asta, zise bărbatul pe un ton cât se poate de firesc.

— Vai! exclamă domnul Tompkins. Cum se poate...

— Simplu, eu sunt mecanicul de locomotivă, răspunse bărbatul ca şi cum asta ar explica totul.

— Mecanicul de locomotivă? repetă domnul Tompkins. Întotdeauna mi-am dorit să fiu mecanic de locomotivă, vreau să zic când eram copil. Dar... ce-are a face cu faptul de-a rămâne tânăr? adăugă el, părând din ce în ce mai încurcat.

— Nu ştiu exact, răspunse mecanicul, dar aşa stau lucrurile. Aşa mi-a zis tipul ăla de la universitate. Eram chiar aici — şi arătă către o masă de lângă uşă. Stăteam şi noi de vorbă, să mai treacă timpul, ştii cum e. Mi-a povestit el totul. Chestia asta mă depăşea, îţi dai seama. N-am priceput un cuvânt. Dar el zicea că totul vine de la accelerare şi de la încetinire. Asta ţin minte. Nu numai viteza afectează timpul, a spus el, ci şi acceleraţia. De fiecare dată când eşti împins înainte sau tras înapoi în tren — şi asta se întâmplă când ajungi şi când pleci din gară — timpul pasagerilor e afectat. Cine *nu* se află în tren, nu simte toate schimbările astea. Când trenul se apropie de peron, nu vezi oameni pe peron care să se agaţe de şine sau de mai ştiu eu ce ca să nu cadă, aşa cum se întâmplă în tren. De aici vine diferenţa. Naiba ştie... — şi mecanicul ridică din umeri.

Brusc, o mână grea scutură umărul domnului Tompkins. Îşi dădu atunci seama că nu se afla în bufetul gării, ci pe banca din sala unde urmărise lecţia profesorului. Luminile erau pe

jumătate stinse, sala pustie. Portarul era cel care-l trezise spunând:

— Scuze, domnule, trebuie să închidem. Dacă vreţi să dormiţi, ar fi mai bine s-o faceţi acasă.

Ruşinat, domnul Tompkins se ridică şi porni spre ieşire.

2 Lecția profesorului despre relativitate care a provocat visul domnului Tompkins

Doamnelor și domnilor,

Într-un stadiu foarte primitiv al dezvoltării gândirii umane au apărut noțiunile de spațiu și timp drept cadrul în care au loc diverse evenimente. Aceste noțiuni, fără modificări esențiale, au fost preluate din generație în generație și, dată fiind dezvoltarea științelor exacte, au fost incluse în fundamentele descrierii matematice a Universului. Marele Newton a dat poate cea mai precisă formulare a noțiunilor clasice de spațiu și timp, scriind în *Principia*:

> „Spațiul absolut, în natura sa, fără vreo legătură cu ceva din afară, rămâne mereu la fel și nemișcat"; și „Timpul matematic, absolut și adevărat, în sine și prin propria sa natură, curge egal și fără vreo legătură cu ceva din afară."

Atât de puternică era credința în corectitudinea absolută a acestor idei *clasice* despre spațiu și timp, încât au fost adesea considerate de filozofi ca date *a priori*, iar nici unui savant nu i-a trecut măcar prin minte că ar fi posibil să se îndoiască de ele.

Totuși, la începutul acestui secol [al XX-lea] a devenit limpede că un număr de rezultate obținute prin cele mai sofisticate metode ale fizicii experimentale conduc la contradicții evidente dacă sunt interpretate în cadrul clasic al spațiului și timpului. Aceste descoperiri l-au condus pe unul dintre cei mai mari fizicieni ai secolului XX, Albert Einstein, la ideea revoluționară că nu există motive, cu excepția celor ținând de tradiție, să considerăm noțiunile clasice de spațiu și timp drept

adevăruri absolute, şi că ele ar putea şi ar trebui să fie modificate pentru a corespunde noilor şi mai rafinatelor noastre experienţe. De fapt, deoarece noţiunile clasice de spaţiu şi timp au fost formulate pe baza experienţei umane din viaţa de zi cu zi, nu trebuie să fim surprinşi că metodele sofisticate de observaţie din zilele noastre, bazate pe tehnici experimentale foarte elaborate, indică faptul că vechile noţiuni sunt prea grosolane şi inexacte; ele au fost folosite în viaţa cotidiană şi în stadiile incipiente ale dezvoltării fizicii doar fiindcă abaterea lor de la noţiunile corecte a fost prea mică pentru a fi observată. De asemenea, nu trebuie să fim surprinşi că lărgirea câmpului de explorare a ştiinţei moderne ne poate duce în regiuni unde aceste abateri devin atât de mari, încât noţiunile clasice nu mai pot fi deloc folosite.

Cel mai important rezultat experimental care a condus la critica fundamentală a noţiunilor clasice a fost descoperirea că *viteza luminii în vid este o constantă (300 000 kilometri pe secundă sau 186 000 mile pe secundă) şi reprezintă limita superioară pentru toate vitezele fizic posibile.*

Această concluzie importantă şi neaşteptată a fost susţinută, de exemplu, de experimentele fizicienilor americani Michelson şi Morley. La sfârşitul secolului al XIX-lea, ei au încercat să observe efectul mişcării pământului asupra vitezei luminii. Ei au avut în minte ideea dominantă a acelei epoci, conform căreia lumina era o undă ce se mişcă într-un mediu numit eter. Se aşteptau deci la o comportare asemănătoare cu cea a valurilor de apă care se mişcă pe suprafaţa unui lac. Se presupunea că Pământul s-ar mişca prin mediul numit eter într-un mod similar cu mişcarea unei bărci pe suprafaţa apei. Valurile provocate de vas îi apar unui pasager mişcându-se mai încet în direcţia de înaintare a bărcii decât în direcţia opusă. Într-un caz trebuie să scădem viteza bărcii din cea a valurilor, iar în celălalt caz să le adunăm. Numim aceasta *teorema de compunere a vitezelor.* A fost dintotdeauna considerată evidentă. Prin urmare, în mod similar, ne-am fi aşteptat ca viteza luminii să difere în

funcţie de direcţia sa în raport cu mişcarea Pământului prin eter. Părea deci posibil să se determine viteza Pământului în raport cu eterul măsurând viteza luminii în diferite direcţii.

Spre marea surpriză a lui Michelson şi Morley, şi spre surprinderea întregii lumi ştiinţifice, ei au găsit că nu există asemenea diferenţe, viteza luminii fiind exact aceeaşi în toate direcţiile. Acest rezultat neaşteptat a sugerat ideea că poate, printr-o nefericită coincidenţă, Pământul, în rotaţia sa în jurul Soarelui, s-a întâmplat să fie staţionar faţă de eter exact în momentul desfăşurării experimentului. Pentru a verifica dacă aşa stau lucrurile, experimentul a fost repetat şase luni mai târziu, când Pământul se mişca în direcţie opusă, pe cealaltă parte a orbitei sale. Dar, din nou, nu a putut fi detectată vreo diferenţă în viteza luminii.

S-a stabilit că viteza luminii nu se comportă ca viteza unei unde, rămânând posibilitatea ca ea să se comporte ca aceea a unui proiectil. Dacă tragem un glonţ dintr-o puşcă aflată pe o barcă, pasagerului din barcă i se pare că glonţul se îndepărtează de barca în mişcare cu aceeaşi viteză în orice direcţie — comportarea găsită de Michelson şi Morley pentru lumina emisă în toate direcţiile de pe Pământul aflat în mişcare. Dar în acest caz, unui observator de pe mal i se va părea că glonţul tras în direcţia de deplasare a bărcii va călători mai repede decât unul tras în direcţia opusă. În primul caz, viteza bărcii se va adăuga vitezei glonţului, iar în al doilea caz se va scădea — conform, iarăşi, teoremei de compunere a vitezelor. În consecinţă, ne-am aştepta ca lumina emisă de o sursă care *se mişcă în raport cu noi* să aibă viteze care depind de unghiul dintre direcţia de emisie şi direcţia mişcării.

Experimentele arată însă că nu aşa stau lucrurile. Să considerăm, de pildă, pionii neutri. Aceştia sunt particule subatomice foarte mici, care se dezintegrează emiţând două pulsuri de lumină. S-a găsit că aceste pulsuri sunt emise întotdeauna cu aceeaşi viteză, indiferent de direcţia relativă de mişcare a pionului care i-a generat, chiar şi atunci când pionul se mişcă cu o viteză apropiată de cea a luminii.

Am aflat astfel că, în timp ce primul experiment ne arată că lumina nu se comportă ca o undă convenţională, cel de-al doilea ne arată că nu se comportă nici ca o particulă convenţională.

În concluzie, am aflat că viteza luminii în vid are o valoare constantă, indiferent de mişcarea observatorului (observaţiile noastre de pe Pământul aflat în mişcare) sau de mişcarea sursei de lumină (observaţiile noastre asupra luminii emise de pionii aflaţi în mişcare).

Ce se poate spune despre cealaltă proprietate a luminii pe care am enunţat-o — aceea că este limita superioară posibilă a vitezelor?

„Aha", aţi putea spune, „nu e oare posibil să obţinem o viteză supraluminoasă adunând mai multe viteze mai mici?"

De exemplu, ne-am putea imagina un tren ultrarapid având o viteză, să spunem, de trei sferturi din viteza luminii, iar un om ar putea alerga pe acoperişul unui vagon de asemenea cu o viteză reprezentând trei sferturi din viteza luminii. (V-am cerut să vă folosiţi *imaginaţia*!) Conform teoremei de compunere a vitezelor, viteza totală ar trebui să fie o dată şi jumătate viteza luminii. Asta ar însemna că omul care aleargă ar depăşi fasciculul de lumină de la semafor. Dar, dacă acceptăm observaţia experimentală că viteza luminii e constantă, atunci viteza rezultantă trebuie să fie mai mică decât ne-am aştepta — ceea ce înseamnă că teorema clasică de compunere a vitezelor e greşită.

Tratarea matematică a problemei — subiect în care nu vreau să intru aici — conduce la o nouă formulă foarte simplă pentru calculul vitezei rezultante a două mişcări suprapuse. Dacă v_1 şi v_2 sunt cele două viteze care trebuie adunate, iar c este viteza luminii, viteza rezultantă va fi

$$V = \frac{(v_1 + v_2)}{\left(1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}\right)} \qquad (1)$$

Puteți vedea din această formulă că atunci când ambele viteze sunt mici, vreau să spun mici în comparație cu viteza luminii, cel de-al doilea termen de la numitor în relația (1) va fi atât de mic, încât va putea fi ignorat, obținându-se teorema clasică de compunere a vitezelor. Dacă totuși v_1 și v_2 nu sunt chiar atât de mici, rezultatul va fi ceva mai mic decât suma aritmetică. În exemplul nostru cu omul alergând pe vagoane de-a lungul trenului, $v_1 = \frac{3}{4}\,c$ și $v_2 = \frac{3}{4}\,c$, iar formula noastră va da viteza rezultantă $V_2 = \frac{24}{25}\,c$, care este mai mică decât viteza luminii.

Ar mai trebui observat că, în cazul particular în care una dintre viteze este c, formula (1) va da c pentru viteza rezultantă, indiferent care ar fi cea de-a doua viteză. Prin urmare, suprapunând oricâte viteze, nu vom putea niciodată depăși viteza luminii. Această formulă a fost confirmată experimental; însumarea a două viteze are ca rezultat o viteză întotdeauna ceva mai mică decât suma lor aritmetică.

Odată ce am recunoscut existența limitei superioare a vitezei, putem începe critica ideilor clasice despre spațiu și timp, îndreptându-ne prima salvă împotriva noțiunii de *simultaneitate*.

Atunci când spuneți „Explozia din minele de lângă Capetown a avut loc exact în același moment în care vă luați micul dejun în apartamentul din Londra", vă gândiți că știți ce înseamnă. Vreau să vă arăt că nu știți. Strict vorbind, această frază nu are un înțeles exact.

Pentru a vedea cum stau lucrurile, haideți să considerăm ce metodă doriți ca să verificăm dacă două evenimente din două locuri diferite sunt sau nu simultane. Ați putea spune că două evenimente sunt simultane dacă ceasurile din cele două locuri arată același timp. Se pune însă atunci problema cum potrivim ceasurile din cele două locuri aflate la distanță astfel încât să arate simultan același timp — și am ajuns înapoi la prima întrebare.

Deoarece independenţa vitezei luminii în vid de mişcarea sursei sale sau de sistemul în care e măsurată este unul dintre cele mai bine stabilite fapte experimentale, următoarea metodă de măsurare a distanţelor şi de potrivire corectă a ceasurilor în diferite staţii de observaţie ar trebui să fie recunoscută drept cea mai raţională şi, de fapt, aşa cum veţi constata după o reflecţie mai atentă, singura metodă raţională.

Un semnal luminos este trimis de la staţia A şi imediat ce va fi recepţionat la staţia B va fi retransmis înapoi spre A. Jumătate din acest timp, înregistrat la staţia A între trimiterea şi întoarcerea semnalului, înmulţită cu viteza luminii va defini distanţa dintre A şi B.

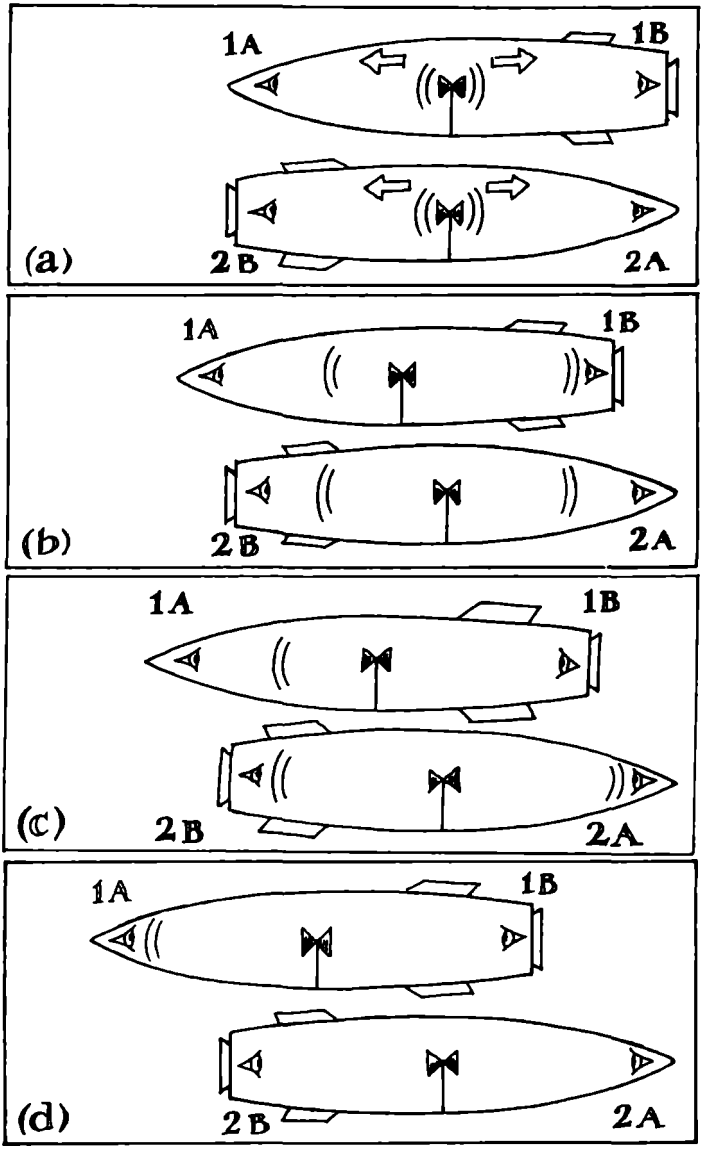
Ceasurile de la staţiile A şi B se spune că sunt potrivite corect dacă la momentul sosirii semnalului în B ceasul de acolo arată media celor doi timpi înregistraţi în A la momentul emiterii şi al primirii semnalului. Folosind această metodă între diferitele staţii de observaţie aflate pe suprafaţa unui corp rigid (în acest caz, suprafaţa Pământului) ajungem în cele din urmă la sistemul de referinţă dorit. Putem răspunde acum la întrebarea privind simultaneitatea a două evenimente din locuri diferite, sau intervalul de timp dintre ele.

Dat fiind că toţi observatorii folosesc aceeaşi metodă pentru stabilirea sistemelor lor de referinţă, vor obţine ei oare aceleaşi rezultate ale măsurătorilor? Ce se întâmplă dacă observatorii se *mişcă* unul faţă de altul?

Pentru a răspunde la această întrebare, să presupunem că sistemele de referinţă au fost stabilite pe două corpuri rigide diferite, de pildă pe două rachete lungi care se mişcă cu viteze constante în direcţii opuse. Să vedem cum se potrivesc între ele măsurătorile făcute cu aceste două sisteme de referinţă. Să presupunem că în fiecare rachetă avem câte un observator în faţă şi câte unul în spate, în capetele fiecărei rachete. În primul rând, fiecare pereche de observatori trebuie să-şi potrivească ceasurile corect. Folosind o riglă, ei vor determina mijlocul rachetei în care se află. Aici vor monta o sursă inter-

mitentă de lumină. Vor face așa încât sursa să emită un impuls luminos spre ambele capete ale rachetei. Vor cădea de acord să-și potrivească ceasurile la zero în momentul în care primesc impulsul trimis de la mijloc spre cele două locuri unde se află. Lumina având de parcurs distanțe egale către cele două capete, cu aceeași viteză *c*, observatorii noștri au stabilit, conform definiției anterioare, criteriul de simultaneitate în propriul lor sistem și și-au potrivit ceasurile „corect" — din punctul lor de vedere.

Acum vor decide să vadă dacă timpul indicat în racheta lor se potrivește cu timpul de pe cealaltă rachetă. De exemplu, oare ceasurile celor doi observatori din racheta 1 vor arăta același timp atunci când vor fi privite din racheta 2? Se poate verifica astfel: În centrul fiecărei rachete (acolo unde se află sursele de lumină), se instalează doi conductori electrici încărcați, în așa fel încât, atunci când rachetele trec una pe lângă cealaltă, iar centrele lor se află exact unul în dreptul celuilalt, apare o scânteie între conductori. Aceasta determină cele două surse de lumină să emită impulsurile simultan către cele două capete ale respectivelor rachete — așa cum se vede în figura (a). După un timp, conform observatorilor 2A și 2B din racheta 2, vom avea situația din figura (b). Racheta 1 s-a mișcat în raport cu racheta 2. Impulsurile luminoase au parcurs distanțe egale în fiecare direcție. Dar priviți ce s-a întâmplat. Deoarece observatorul 1B s-a mișcat înspre raza de lumină ce venea către el (conform observatorilor 2A și 2B), impulsul îndreptat spre capătul din spate în racheta 1 a ajuns deja la poziția 1B. Conform cu 2A și 2B, cauza ar fi distanța mai mică pe care ar avea-o de parcurs. Astfel, observatorul 1B și-a potrivit ceasul la zero înaintea tuturor celorlalți! În figura (c) impulsurile luminoase au atins capetele rachetei 2, iar acesta este momentul în care observatorii 2A și 2B și-au potrivit ceasurile la zero — simultan. Abia atunci când ajungem la figura (d) impulsul îndreptat spre capătul din față în racheta 1 e captat de observatorul 1A — care, din punctul lui de vedere, este momentul pentru



Ceasurile lor nu indică același timp

a-și potrivi ceasul la zero. Vedem deci că, din punctul de vedere al observatorilor de pe racheta 2, cei de pe racheta 1 nu și-au potrivit ceasurile corect — ceasurile lor *nu* indică același timp.

Acum, firește, putem la fel de ușor prezenta aceeași situație din punctul de vedere al observatorilor din racheta 1. Din perspectiva lor, racheta *lor* este cea „staționară", iar racheta 2 se află în mișcare. Observatorul 2B este cel care se va mișca în întâmpinarea impulsului luminos, iar observatorul 2A cel ce se depărtează. Din punctul de vedere al observatorilor 1A și 1B, 2A și 2B sunt cei care nu și-au potrivit ceasurile corect, în timp ce ale lor sunt corect potrivite.

Diferențele de opinie apar pentru că, atunci când evenimentele se petrec în locuri diferite, ambele seturi de observatori au de făcut *calcule* înainte de a hotărî asupra simultaneității unor evenimente separate; ei trebuie să țină seama de timpul necesar semnalelor luminoase pentru a parcurge distanțele, iar pentru fiecare viteza luminii e constantă în toate direcțiile în raport cu *el.* (Numai dacă evenimentele se petrec în același loc — atunci când nu este nevoie de calcule — poate exista un acord universal asupra simultaneității unor evenimente care se produc în acel loc.) Deoarece cele două rachete sunt echivalente, neconcordanța dintre cele două grupuri de observatori poate fi rezolvată doar spunând că fiecare grup obține rezultate corecte *din punctul lui de vedere,* dar întrebarea care din rezultate este „absolut" corect nu admite un răspuns unic.

Astfel, am văzut că *noțiunea de simultaneitate absolută dispare, iar două evenimente din două locuri diferite, considerate simultane într-unul din sistemele de referință, vor fi separate printr-un interval de timp din punctul de vedere al celuilalt sistem.*

Această frază sună foarte ciudat, la prima vedere. Dar vin și vă întreb: Ar fi ciudat dacă v-aș spune că, atunci când luați prânzul în tren, mâncați supa și desertul în același loc din vagonul restaurant, dar în locuri separate printr-o mare distanță

pe calea ferată? Fireşte că nu. Afirmaţia despre prânzul din tren poate fi reformulată spunând că *două evenimente, care se petrec la momente de timp diferite în acelaşi punct din spaţiu într-unul din sistemele de referinţă, vor fi separate printr-un interval spaţial bine definit din punctul de vedere al altui sistem.*

Cred că veţi fi de acord că aceasta este o afirmaţie „banală". Acum însă comparaţi-o cu precedenta, cea „paradoxală", şi veţi vedea că sunt două afirmaţii absolut simetrice. Pot fi transformate una în alta doar schimbând între ele cuvintele „spaţiu" şi „timp".

Aici se află esenţa abordării lui Einstein: dacă în fizica clasică a lui Newton timpul era considerat independent de spaţiu şi mişcare („curgând egal fără legătură cu ceva din afară"), în această nouă fizică spaţiul şi timpul sunt strâns legate. Ele reprezintă numai două secţiuni diferite ale unui „continuu spaţiu-timp" în care au loc toate evenimentele observabile. Nu trebuie să ne lăsăm induşi în eroare de modurile foarte diferite în care le percepem şi le măsurăm (unul cu o riglă, celălalt cu un ceas). Realitatea fizică nu constă în trei dimensiuni spaţiale, la care se adaugă o dimensiune temporală separată. Spaţiul şi timpul sunt indisolubil sudate într-o realitate cvadridimensională fără înnădituri — pe care o vom numi *spaţiu-timp.*

Despicarea acestui spaţiu continuu cvadridimensional într-un spaţiu tridimensional şi un timp unidimensional este pur arbitrară şi depinde de sistemul din care se fac observaţiile. Astfel, două evenimente, separate în spaţiu prin distanţa l_1 şi în timp prin intervalul t_1 atunci când sunt observate dintr-un sistem, vor fi separate prin altă distanţă l_2 şi printr-un alt interval de timp t_2 dacă sunt privite din alt sistem. Totul depinde de secţiunea particulară făcută în realitatea cvadridimensională, care la rândul ei depinde de mişcarea observatorului în raport cu evenimentele în discuţie.

Într-un anume sens putem vorbi despre transformarea spaţiului în timp şi a timpului în spaţiu. Într-o oarecare măsură ele pot fi „amestecate". De fapt, transformarea timpului în spa-

ţiu (ca în exemplul cu prânzul din tren) este o idee destul de obişnuită pentru noi. Pe de altă parte, transformarea spaţiului în timp, care are ca rezultat relativitatea simultaneităţii, pare ciudată. Motivul este că, dacă vom măsura distanţele în „metri", unitatea corespunzătoare pentru timp nu va fi „secunda" convenţională, ci o unitate de timp mult mai raţională, care reprezintă intervalul de timp necesar unui semnal luminos să parcurgă distanţa de un metru, adică 0,000 000 003 secunde. Dacă simţurile ne-ar fi permis să sesizăm intervale de timp de această durată, pierderea simultaneităţii ne-ar fi părut dintotdeauna evidentă. Faptul că, în sfera experienţei noastre curente, transformarea intervalelor spaţiale în intervale temporale conduce la diferenţe practic inobservabile este acela care a dus la perspectiva clasică asupra timpului, conform căreia timpul e absolut independent şi imuabil.

Atunci când studiem mişcări la viteze foarte mari, cum sunt cele ale electronilor emişi de nucleele atomilor radioactivi — pentru care distanţele parcurse într-un interval de timp dat sunt de acelaşi ordin de mărime cu timpul exprimat în unităţi corespunzătoare — ne confruntăm inevitabil cu efectele pe care le-am discutat, iar teoria relativităţii devine foarte importantă. Chiar şi în domeniul vitezelor relativ mici, ca în cazul mişcării planetelor în sistemul nostru solar, efectele relativiste pot fi observate graţie preciziei extreme a măsurătorilor astronomice. Observarea efectelor relativiste necesită măsurători asupra modificării mişcărilor planetare de ordinul unei fracţiuni de secundă de arc pe an.

Deci, aşa cum am încercat să vă explic, studiul noţiunilor de spaţiu şi timp ne-a condus la concluzia că intervalele spaţiale pot fi parţial convertite în intervale temporale, şi viceversa. Aceasta înseamnă că valorile numerice ale unei distanţe date sau ale unei perioade de timp pot fi diferite atunci când sunt măsurate din sisteme diferite aflate în mişcare.

O analiză matematică relativ simplă a problemei, în care nu vreau să intru în această conferinţă, conduce la o formulă

bine definită pentru modificările acestor valori. Pentru aceia dintre dumneavoastră care sunteţi interesaţi, orice obiect de lungime l_0, în mişcare cu viteza v faţă de un observator, îi va apărea observatorului mai scurt cu o cantitate ce depinde de viteză. Lungimea sa l va fi

$$l = l_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \tag{2}$$

De aici puteţi vedea că atunci când v devine foarte apropiat de c, l devine din ce în ce mai mic. Aceasta este faimoasa *contracţie a lungimii*. Mă grăbesc să adaug că este vorba de lungimea obiectului în direcţia mişcării. Dimensiunile sale pe direcţii perpendiculare pe aceasta rămân nemodificate. Obiectul va apărea aplatizat pe direcţia mişcării.

În mod analog, orice proces care durează timpul t_0, într-un sistem aflat în mişcare cu viteza v faţă de acest proces va fi observat ca durând un timp mai lung t, dat de

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \tag{3}$$

Observaţi că pe măsură ce v creşte, acelaşi lucru se întâmplă şi cu t. Pe măsură ce v se apropie de valoarea lui c, t devine atât de mare încât procesul aproape că se opreşte. Acest fenomen relativist este cunoscut sub numele de *dilatarea timpului*. El se află la originea ideii că, dacă ar exista astronauţi care să călătorească cu viteze apropiate de viteza luminii, procesul lor de îmbătrânire ar fi atât de mult încetinit încât ar trăi practic pe veci!

Nu trebuie să uitaţi că aceste efecte sunt absolut simetrice pentru sistemele de referinţă în mişcare uniformă unele în raport cu altele. Dacă persoanele care se află pe un peron vor considera că pasagerii dintr-un tren foarte rapid s-au subţiat şi

se mișcă lent în tren, iar ceasurile lor merg foarte încet, pasagerii din tren, la rândul lor, vor crede același lucru despre persoanele pe care le văd afară, pe peron; gara se va îngusta și totul va părea că se petrece foarte încet.

La prima vedere toate acestea vi se vor părea paradoxale. Într-adevăr, problema a devenit cunoscută sub numele de „paradoxul gemenilor". Să presupunem că există doi gemeni; unul dintre ei pleacă într-o călătorie, iar celălalt rămâne acasă. Conform teoriei pe care am prezentat-o, fiecare dintre gemeni va crede că celălalt îmbătrânește mai lent, bazându-se pe observația proprie asupra celuilalt și pe calculele pe care le-a făcut pentru a vedea cât timp i-a trebuit semnalului luminos ca să ajungă la el. Întrebarea este ce vor descoperi atunci când geamănul călător se va întoarce și se va putea face o *comparație directă* între cei doi — o comparație ce nu mai cere nici un calcul, deoarece se vor afla din nou în același loc. (Evident că nu se poate ca fiecare să fie mai bătrân decât celălalt.) Soluția problemei se bazează pe faptul că cei doi gemeni *nu* sunt în aceeași situație. Pentru ca geamănul călător să se întoarcă, el a trebuit să suporte accelerații — mai întâi încetinirea, apoi accelerarea în direcția opusă. Spre deosebire de fratele său, el nu a rămas într-o stare de mișcare uniformă. Numai cel rămas acasă s-a aflat în această situație, iar astfel el este cel a cărui afirmație — după care celălalt frate e mai tânăr — se va dovedi corectă.

Încă o precizare înainte de a încheia. Vă puteți întreba ce ne oprește să accelerăm un obiect până la viteze mai mari decât viteza luminii. Firește, puteți să vă gândiți că dacă împingem un obiect suficient de tare pentru un timp suficient de lung, astfel încât să fie accelerat continuu, am putea în cele din urmă atinge orice viteză am dori.

Conform fundamentelor generale ale mecanicii, masa unui corp determină dificultatea punerii în mișcare sau accelerării unei mișcări existente; cu cât masa este mai mare, cu atât este mai greu să-i crești viteza până la o valoare dată. Faptul că nici

un obiect, în nici o împrejurare, nu poate depăşi viteza luminii ne duce la o interpretare posibilă a ceea ce se întâmplă: rezistenţa din ce în ce mai mare la o accelerare ulterioară se datorează creşterii masei obiectului. Cu alte cuvinte, masa obiectului creşte nelimitat atunci când viteza sa se apropie de viteza luminii. Calculul matematic ne conduce la o formulă a acestei dependenţe, analogă formulelor (2) şi (3). Dacă m_0 este masa la viteze foarte mici, masa m la viteza v este dată de

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (4)$$

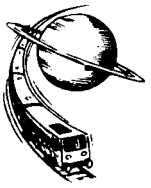
De aici vedem că rezistenţa la accelerări ulterioare devine infinită atunci când v se apropie de c — fiindcă c este viteza limită. O demonstraţie bună a modificării relativiste a masei poate fi observată experimental la particulele extrem de rapide. Să luăm de exemplu electronii. Aceştia sunt particulele foarte mici din interiorul atomului, care se mişcă în jurul nucleului central. Ei sunt uşor de accelerat tocmai fiindcă sunt atât de uşori. Atunci când electronii sunt smulşi din atomul lor şi sunt supuşi unor forţe electrice foarte puternice în acceleratoare speciale de particule, ei pot fi aduşi la viteze de ordinul unor mici fracţiuni din viteza luminii. La asemenea viteze rezistenţa lor la accelerări ulterioare poate fi echivalentă cu cea a unei particule cu masa de 40 000 de ori mai mare decât cea a electronului — aşa cum s-a demonstrat la laboratoarele Stanford din California.

Nu numai aceasta, ci şi dilatarea timpului a fost demonstrată. În marele laborator de fizica particulelor elementare numit CERN, în Elveţia, lângă Geneva, miuonii instabili (un tip de particulă elementară care se dezintegrează în mod normal după o milionime de secundă) s-a dovedit că supravieţuiesc un timp de treizeci de ori mai lung atunci când se deplasează cu mare viteză în instalaţia circulară de forma unui mare covrig gol în

interior. La vitezele la care se mişcă miuonii, factorul treizeci este exact cel prezis de formula pentru dilatarea timpului.

Prin urmare, la asemenea viteze, aproximaţiile din mecanica clasică devin absolut inadecvate şi intrăm în domeniul în care aplicarea teoriei relativităţii devine inevitabilă.

3 Domnul Tompkins își ia concediu



La câteva zile după acea primă conferință, domnul Tompkins era încă tulburat de visul său legat de orașul relativist. Era mai ales intrigat de misterul prin care mecanicul de locomotivă putea împiedica îmbătrânirea pasagerilor. În fiecare seară se ducea la culcare cu speranța că va vedea din nou acel interesant oraș. N-a fost să fie. Mai curând timid și anxios, visele sale erau de cele mai multe ori rele. Ultima dată se făcea că directorul băncii îl concedia din cauza încetinelii cu care își făcea calculele. Încercările domnului Tompkins de a se scuza, bazate pe dilatarea relativistă a timpului, n-au impresionat pe nimeni. Atunci a hotărât să-și ia concediu. Așa se face că se găsea în tren privind pe fereastră acoperișurile cenușii ale suburbiilor, care lăsau treptat locul pășunilor verzi, și se îndrepta spre mare, unde urma să stea o săptămână. Avea, din păcate, să piardă cea de-a doua conferință din serie, dar a aranjat să capete de la secretară fotocopii după notele profesorului. Încercase să priceapă câte ceva din ele, dar nu ajunsese prea departe. Cum le luase cu sine, le-a scos din valiză și a început să le studieze încă o dată. Vagonul continua să-l legene...

Când a lăsat jos notițele și s-a uitat pe geam peisajul era din nou mult schimbat. Stâlpii de telegraf erau atât de apropiați unul de altul, încât arătau ca un gard, iar copacii aveau coroana atât de îngustă de parcă ar fi fost chiparoșii din Italia. Și, ca bucuria să fie deplină, pe bancheta din față stătea profesorul în persoană! Trebuie să se fi urcat pe când domnul Tompkins era prins cu cititul.

Recăpătându-şi curajul, domnul Tompkins s-a hotărât să profite de ocazie.

— Se pare că ne aflăm în ţara relativităţii, remarcă el.

— Într-adevăr, răspunse profesorul. Sunteţi familiarizat cu ea...?

— Am mai fost pe-aici.

— Sunteţi fizician, expert în relativitate? întrebă profesorul.

— Ah, nu, protestă domnul Tompkins puţin încurcat. Abia am început să învăţ câte ceva, doar o lecţie până acum.

— Foarte bine. Niciodată nu-i prea târziu. Fascinant subiect. Unde anume studiaţi?

— La universitate. Am fost la cursul *dumneavoastră*.

— La cursul meu! exclamă însoţitorul. Îl privi atent pe domnul Tompkins şi pe faţă îi licări un zâmbet de recunoaştere. Da, sunteţi cel care s-a furişat ceva mai târziu în fundul sălii! Acum îmi aduc aminte. Mi se părea cunoscută figura dumneavoastră.

— Sper că nu v-am deranjat... bâigui domnul Tompkins scuzându-se. Nădăjduia din tot sufletul ca profesorul să nu fi observat că aţipise în timpul lecţiei.

— Nu, nu. Nu-i nici o problemă, veni răspunsul. Se întâmplă mereu.

Domnul Tompkins cugetă o clipă, apoi îşi luă inima în dinţi:

— Nu vreau să vă deranjez, dar pot să vă pun o întrebare, doar o mică întrebare? Ultima dată când am fost aici, am vorbit cu mecanicul de locomotivă care susţinea că motivul pentru care pasagerii îmbătrânesc mai încet decât oamenii din oraş — şi nu invers — se leagă de faptul că trenul opreşte şi porneşte. N-am priceput...

Profesorul rămase o clipă pe gânduri, apoi începu:

— Dacă două persoane se află într-o mişcare relativă uniformă, atunci fiecare va considera că celălalt îmbătrâneşte mai puţin rapid decât el însuşi — dilatarea relativistă a timpului. Un pasager din tren va considera că funcţionarul care vinde bilete în gară îmbătrâneşte mai lent decât el; la fel, funcţionarul va considera că cel din tren îmbătrâneşte mai lent.

— Dar nu pot avea dreptate amândoi, obiectă domnul Tompkins.

— De ce nu? Amândoi au dreptate, fiecare din punctul lui de vedere.

— Bine, dar cine are *cu adevărat* dreptate, insistă domnul Tompkins.

— Nu puteţi pune asemenea întrebări generale. În relativitate, observaţiile se raportează întotdeauna la un anume observator, un observator aflat într-o mişcare bine definită faţă de acel lucru care e observat.

— Dar noi ştim că pasagerul îmbătrâneşte mai lent decât funcţionarul, şi nu invers. Domnul Tompkins începu să descrie întâlnirea cu domnul care călătorea mult şi nepoata acestuia.

— Da, da, îl întrerupse profesorul, uşor nerăbdător. E vorba din nou de paradoxul gemenilor. Am discutat despre el în prima lecţie, dacă vă amintiţi. Bunicul a suportat acceleraţii; spre deosebire de nepoata sa, el *nu* a rămas într-o stare de mişcare uniformă şi constantă. Aşa că ea are dreptate să se aştepte ca bunicul să fi îmbătrânit mai puţin, la întoarcere, când se pot compara stând unul lângă altul.

— Bun, de acord, acceptă domnul Tompkins. Dar tot nu pricep. Nepoata poate folosi dilatarea relativistă a timpului ca să înţeleagă de ce bunicul ei îmbătrâneşte mai greu; nu asta e problema. Dar cum poate înţelege bunicul de ce nepoata a îmbătrânit *mai mult*? Cum poate explica el *asta*?

— Ah, răspunse profesorul, despre asta am vorbit în cea de-a doua lecţie, nu vă amintiţi?

Aici domnul Tompkins a trebuit să explice că lipsise, dar va încerca să recupereze citind notiţele.

— E clar, continuă profesorul. Problema se pune astfel: pentru ca *bunicul* să înţeleagă ce se petrece, el trebuie să ţină cont de ce vede că se întâmplă cu nepoata lui atunci când el îşi *schimbă* mişcarea.

— Şi ce se întâmplă? se miră domnul Tompkins.

— Ei bine, în timp ce el călătoreşte cu viteză uniformă, nepoata sa îmbătrâneşte mai puţin — dilatarea timpului. Dar când

conductorul pune o frână sau accelerează apoi la întoarcere, efectul asupra procesului ei de îmbătrânire e exact opus; bunicului îi apare ca un proces *accelerat*. În timpul acestor scurte intervale de mişcare neuniformă, îmbătrânirea ei o ia înaintea celei a bunicului. Astfel, chiar dacă ea îşi recapătă viteza normală lentă de îmbătrânire de acasă, efectul net va fi că la întoarcere el se aşteaptă ca ea să fi îmbătrânit mai mult decât el, ceea ce se adevereşte.

— Extraordinar! exclamă domnul Tompkins. Au însă oamenii de ştiinţă vreo dovadă pentru asta? Există vreun experiment care să arate această îmbătrânire diferenţiată?

— Bineînţeles. În prima lecţie am pomenit despre miuonii instabili care circulă prin gaura covrigului de la laboratoarele CERN din Geneva. Deoarece ei au o viteză apropiată de cea a luminii, aceşti miuoni se dezintegrează după un timp de treizeci de ori mai lung decât cei care stau liniştiţi în laborator. Miuonii în mişcare sunt ca bunicul; ei călătoresc pe un drum circular şi suportă toate forţele necesare pentru a-i menţine pe traiectorie şi a-i aduce înapoi în punctul de pornire. Miuonii staţionari sunt ca nepoata; ei îmbătrânesc cu viteza normală, se dezintegrează — sau „mor" — mai repede decât cei care se mişcă. De fapt, mai există o metodă de verificare — una indirectă: condiţiile existente într-un sistem aflat în mişcare neuniformă sunt analoge, sau chiar identice, cu rezultatul acţiunii unei forţe gravitaţionale foarte intense. Poate că aţi observat că într-un lift care începe să urce accelerat vi se pare că aveţi o greutate mai mare; sau, dimpotrivă, atunci când liftul coboară (înţelegeţi asta cel mai bine când se rupe cablul) vă simţiţi ca şi cum aţi pierde din greutate. „Câmpul gravitaţional" creat de acceleraţie se adaugă la, sau se scade din, gravitaţia Pământului. Echivalenţa dintre acceleraţie şi gravitaţie face să putem studia efectul acceleraţiei asupra timpului urmărind efectul gravitaţiei. S-a dovedit că gravitaţia Pământului face ca vibraţiile atomice să fie mai rapide în vârful unui turn înalt decât la baza lui. Este exact efectul acceleraţiei prezis de Einstein.

Domnul Tompkins se încruntă. Nu pricepea ce legătură era între grăbirea vibraţiilor atomice în vârful turnului şi presupusa grăbire a îmbătrânirii nepoatei. Văzându-i nedumerirea, profesorul continuă:

— Să presupunem că vă aflaţi la baza turnului şi urmăriţi acele vibraţii atomice mai rapide din vârf. Asupra dumneavoastră acţionează numai forţe externe: duşumeaua vă împinge pentru a compensa gravitaţia. Existenţa acestei forţe, orientată de jos în sus, intensifică procesele temporale care se desfăşoară mai sus. Cu cât atomii se află mai departe de dumneavoastră, cu atât mai mare va fi ceea ce noi numim *diferenţa de potenţial gravitaţională* între dumneavoastră şi acei atomi. Aceasta, la rândul ei, face ca mişcarea atomilor de sus să fie mai accelerată decât cea a atomilor de la baza turnului. Urmând acelaşi raţionament, dacă asupra dumneavoastră se exercită o forţă externă în trenul ăsta...

Aici profesorul făcu o pauză.

— De fapt, cred că acum încetinim; mecanicul a pus frână. Excelent. Chiar în acest moment bancheta din spate vă aplică o forţă care vă modifică viteza. Ea acţionează în sens invers faţă de direcţia de mişcare a trenului. În acest timp, orice proces care se desfăşoară jos, lângă şine, în această direcţie va fi accelerat. Iar dacă nepoata se află acolo, acelaşi lucru i se întâmplă şi ei... Dar unde am ajuns? întrebă el, privind pe fereastră.

Trenul trecea încet pe lângă o mică gară de provincie. Nu era nimeni pe peron, cu excepţia unui controlor de bilete şi, la celălalt capăt al peronului, a unui tânăr care şedea la ghişeul de bilete, citind un ziar. Deodată controlorul a ridicat mâinile în aer şi s-a prăbuşit. Domnul Tompkins n-a auzit împuşcătura, care s-a pierdut probabil în zgomotul trenului, dar balta de sânge din jurul corpului controlorului nu lăsa nici un dubiu asupra celor petrecute. Profesorul a tras imediat semnalul de alarmă, iar trenul s-a oprit cu o smucitură. Când au coborât din vagon, tânărul alerga spre cadavru, cu un pistol în mână. În acel moment şi-a făcut apariţia un poliţist.

CE AȚI VĂZUT NU SE IA ÎN CONSIDERARE

— Împuşcat drept în inimă, spuse poliţistul după ce a cercetat atent cadavrul.

Se întoarse spre tânăr:

— Eşti arestat pentru asasinarea controlorului de bilete. Dă-mi pistolul.

Tânărul se uita cu groază la armă.

— Nu-i al meu! strigă el. Chiar acum l-am ridicat. Zăcea aici, pe jos. Citeam, am auzit împuşcătura şi am venit în goană. Pistolul zăcea pe jos. Ucigaşul l-a aruncat şi a fugit.

— Frumoasă poveste, zise poliţistul.

— Aşa e cum vă spun, insistă tânărul. Nu eu l-am ucis. De ce să-i fac una ca asta bătrânului...?

Privea cu disperare în jur.

— Dumneavoastră... spuse el, arătând către domnul Tompkins şi profesor. Trebuie să fi văzut ce s-a întâmplat. Acest domn poate depune mărturie că sunt nevinovat.

— Da, confirmă domnul Tompkins. Am văzut cu ochii mei. Acest om citea ziarul atunci când a fost împuşcat controlorul. Nu avea pistolul în acel moment.

— Ei! Dar dumneavoastră vă aflaţi în tren în momentul acela, spuse poliţistul închizându-i gura. Eraţi în mişcare, nu-i aşa? *În mişcare!* Ce spuneţi nu se ia în considerare. Nu e nici o dovadă. Văzut *de pe peron,* omul ar fi putut lua arma şi împuşca victima, chiar dacă la momentul crimei dumneavoastră *din tren* vi se părea că încă mai citeşte ziarul. Simultaneitatea depinde de sistemul din care este făcută observaţia, nu-i aşa? Vă cred de bună-credinţă, domnule, dar nu pot să-mi pierd vremea. Vino cu mine, îi spuse nefericitului tânăr.

— Scuzaţi-mă, domnule ofiţer, îl întrerupse profesorul, dar cred că faceţi o greşeală, o greşeală *gravă*. E drept că noţiunea de simultaneitate e foarte relativă în ţara dumneavoastră. Este de asemenea adevărat că două evenimente ce se petrec în locuri diferite pot fi sau nu simultane, în funcţie de mişcarea observatorului. Dar nici măcar în ţara dumneavoastră un observator nu poate vedea efectul înaintea cauzei. (Pun pariu că n-aţi primit vreodată o scrisoare înainte să fie expediată şi nu

v-ați îmbătat înainte să deschideți sticla!) Fapt este că l-am văzut pe tânăr ridicând arma *după* ce controlorul a căzut mort. Din câte înțeleg, dumneavoastră presupuneți că datorită mișcării trenului noi am văzut controlorul căzând înainte ca ucigașul lui să fi tras cu pistolul care i-a provocat moartea. Cu respect țin să vă atrag atenția că e imposibil, chiar și în țara dumneavoastră. Știu că la poliție vi se spune să vă conformați cu strictețe instrucțiunilor din manual. Presupun că, dacă veți căuta acolo, veți găsi ceva în acest sens...

Tonul autoritar al profesorului făcu oarecare impresie asupra polițistului. Scoțând din buzunar manualul, a început să-l răsfoiască încetișor. Curând un zâmbet timid de jenă s-a întins pe fața lui mare, roșie.

— Da, domnule, cred că aveți dreptate, recunoscu el. Am găsit: capitolul 37, subcapitolul 12, paragraful e. „Dacă, dintr-un sistem aflat în orice fel de mișcare, o persoană de încredere observă că suspectul se găsea la distanța d de locul crimei în intervalul de timp $\pm cd$ față de momentul comiterii crimei (c fiind limita naturală pentru viteză), atunci suspectul nu poate fi cauza crimei și astfel are un alibi acceptabil." Îmi pare rău, domnule, murmură polițistul către tânăr. Am impresia că s-a strecurat o greșeală. Îmi cer scuze.

Tânărul părea ușurat. Întorcându-se către profesor, polițistul adăugă:

— Și vă mulțumesc mult și dumneavoastră, domnule. Știți, sunt nou în poliție. Mă mai chinui încă să învăț regulile astea. Trebuie să recunosc că m-ați salvat de o groază de necazuri de care aș fi avut parte la secție. Dar acum vă rog să mă scuzați, trebuie să raportez crima.

Acestea fiind zise, a început să vorbească la radio-telefon. Un minut mai târziu, chiar când domnul Tompkins și profesorul se urcau din nou în tren după ce și-au luat rămas-bun de la tânărul recunoscător, ofițerul strigă după ei:

— Vești bune! Se pare că adevăratul ucigaș a fost prins. Colegii mei au arestat un suspect care fugea din gară. Mulțumesc încă o dată!

După ce şi-au reluat locurile în tren, domnul Tompkins întrebă:

— Poate că sunt eu prost, dar simt că tot n-am pricept până la capăt cum stă treaba cu simultaneitatea. Mă înşel eu, sau simultaneitatea chiar n-are nici un sens în ţara asta?

— Are, însă doar până la un punct, sosi răspunsul. Altminteri n-aş fi putut să-l ajut pe tânăr. Vedeţi dumneavoastră, existenţa unei limite naturale a vitezei pentru mişcarea oricărui obiect, sau pentru emiterea oricărui semnal, face ca simultaneitatea în sensul obişnuit să-şi piardă înţelesul. S-o iau altfel. Să presupunem că aveţi un prieten într-o ţară îndepărtată, cu care corespondaţi prin poştă. Să zicem că o scrisoare face trei zile până acolo. Vi se întâmplă ceva duminică şi aflaţi că acelaşi lucru i se va întâmpla şi prietenului dumneavoastră. Este limpede că nu aveţi cum să-l înştiinţaţi până miercuri. Pe de altă parte, dacă el ar fi ştiut dinainte ce urma să vi se întâmple, ultima dată la care v-ar fi putut înştiinţa ar fi fost joia trecută. Astfel, în cele trei zile de dinainte prietenul nu putea influenţa ce urma să vi se întâmple duminică, şi nici nu putea fi afectat, la rândul lui, de ceea ce vi s-a întâmplat dumneavoastră în cele trei zile de după. Din punctul de vedere al cauzalităţii, el a fost cum s-ar zice excomunicat de dumneavoastră.

— Şi dacă am trimite un e-mail? sugeră domnul Tompkins.

— Am presupus, de dragul demonstraţiei, că viteza avionului care duce scrisoarea e viteza maximă posibilă. De fapt, viteza luminii (sau a oricărei forme de radiaţie electromagnetică, de pildă, undele radio) este viteza maximă. Nu puteţi trimite un semnal, sau avea vreo influenţă cauzală, mai repede de atât.

— Îmi pare rău, am pierdut şirul, spuse domnul Tompkins. Ce are asta de-a face cu simultaneitatea?

— Bun, continuă profesorul. Să luăm, de pildă, prânzul de duminică. Şi dumneavoastră, şi prietenul dumneavoastră mâncaţi duminică la prânz. Dar o faceţi în acelaşi timp — simultan? Un observator ar putea spune că da. Ar putea exista alţii

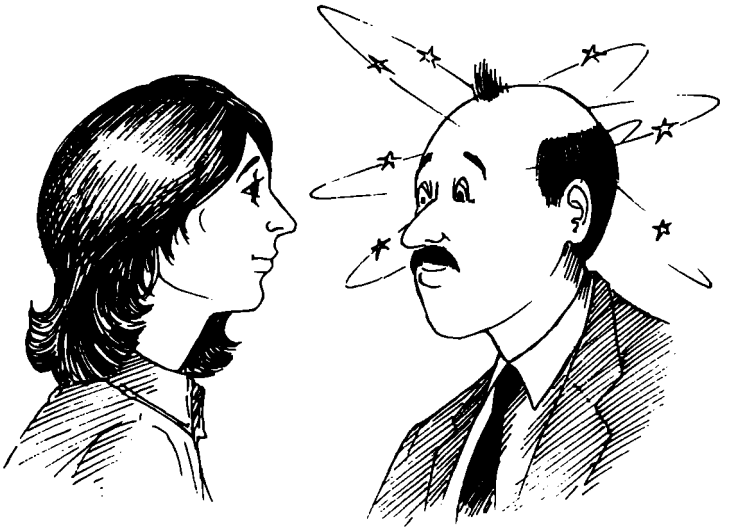
care, făcând observaţiile din trenuri diferite, ar putea insista că dumneavoastră vă mâncaţi prânzul de duminică în timp ce prietenul dumneavoastră îşi ia micul dejun de vineri sau prânzul de marţi. Dar, şi acesta este esenţialul, nimeni nu vă poate observa pe dumneavoastră şi pe prietenul dumneavoastră luând simultan mese despărţite în timp de mai mult de trei zile. Dacă s-ar întâmpla aşa, aţi intra în tot felul de contradicţii. De pildă, ar fi cu putinţă să expediaţi cu trenul resturile de la prânzul de duminică, pentru ca prietenul să le mănânce la prânzul său de duminică. Cum ar putea atunci un observator sa spună că luaţi masa simultan, când e limpede că dumneavoastră aţi mâncat deja? Şi mai e ceva...

În acest punct conversaţia se întrerupse. O zdruncinătură îl trezi pe domnul Tompkins. Trenul ajunsese la destinaţie. Domnul Tompkins îşi adună repede bagajele, coborî din tren şi porni spre hotel.

* * *

Dimineaţa următoare, când domnul Tompkins a coborât pentru micul dejun în veranda lungă a hotelului, îl aştepta o surpriză. La masa din colţul opus stătea profesorul! De fapt, nici nu era o coincidenţă atât de mare pe cât ar părea. Când domnul Tompkins se dusese la universitate ca să ia notele de curs ale profesorului, secretara îi atrăsese atenţia asupra unui bilet care anunţa că lecţia din săptămâna următoare fusese amânată. Domnul Tompkins aflase că profesorul urma să-şi ia o săptămână de concediu. La remarca sa că spera ca profesorul să meargă într-un loc plăcut, secretara a pomenit numele staţiunii. Era şi una din favoritele domnului Tompkins, deşi nu mai fusese acolo de multă vreme. Aşa i-a venit ideea să urmeze exemplul profesorului. Şi aşa se face că au ajuns în aceeaşi staţiune de pe litoral, în plus domnul Tompkins având norocul să stea chiar în acelaşi hotel cu profesorul.

Dar privirea domnului Tompkins a fost atrasă nu atât de profesor, cât de persoana cu care stătea de vorbă: o femeie



Încântat de cunoştinţă, Maud

îmbrăcată în haine sport care, fără să fie o frumuseţe, îţi sărea în ochi — nu prea înaltă, dar elegantă, cu mâini lungi pe care şi le mişca cu expresivitate când vorbea şi râdea. Domnul Tompkins se gândea că ar trebui să aibă vreo treizeci de ani — probabil ceva mai tânără decât el. Se întreba ce-o fi găsind o tânără ca ea la un bătrân ca profesorul.

În acel moment, s-a întâmplat ca ea să se uite în direcţia lui. Spre stinghereala sa, înainte să-şi poată întoarce privirea în altă parte, l-a surprins fixând-o. Ea zâmbi politicos, dar se întoarse imediat spre însoţitorul ei. Profesorul îi urmărise şi el, iar acum îl examina atent. Când li s-au întâlnit privirile, avu o mimică ce spunea parcă „Vă cunosc de undeva?".

Domnul Tompkins simţea că ar face bine să meargă şi să se prezinte. I se părea ciudat s-o facă pentru a doua oară, dar şi-a dat seama la timp că întâlnirea de ieri nu avusese loc decât în vis. Profesorul l-a invitat călduros să se aşeze lângă ei.

— Faceţi cunoştinţă cu fiica mea, Maud, zise el.

— Fiica dumneavoastră! exclamă domnul Tompkins. Oh!

— E ceva în neregulă? se miră profesorul.

— Nu, nimic, se bâlbâi domnul Tompkins. Nu, sigur că nu. Încântat de cunoştinţă, Maud.

Ea a zâmbit şi i-a întins mâna. După ce şi-au reluat locurile şi au comandat micul dejun, profesorul s-a întors către domnul Tompkins şi l-a întrebat:

— Cum v-aţi descurcat cu toată povestea aceea despre spaţiul curbat din ultima lecţie...?

— Tati! spuse Maud cu un uşor reproş — dar el o ignoră.

Domnul Tompkins trebui să-şi ceară scuze pentru a doua oară că lipsise. Profesorul era oricum impresionat că îşi bătuse capul să facă rost de notiţele de curs şi că încerca să recupereze.

— Bun. Sunteţi pasionat, e clar, spuse el. Dacă ne vom plictisi stând toată ziua fără să facem nimic, am să vă dau meditaţii.

— Tati! explodă Maud indignată. Nu pentru asta am venit aici. Era vorba că timp de o săptămână uiţi de toate astea.

Profesorul începu să râdă:

— Mereu mă pune la punct, spuse el atingându-i dosul palmei. Vacanţa asta a fost ideea ei.

— Şi a medicului tău, aminteşte-ţi, îi atrase ea atenţia.

— Mă rog, spuse domnul Tompkins, cu siguranţă că mi-au scăpat destule şi din prima lecţie.

A râs şi a început să povestească visele despre ţara relativistă, cu străzile vizibil contractate şi cu efectele dilatării timpului mult amplificate.

— Vezi, exact asta îţi spun mereu, îi zise Maud tatălui ei. Dacă ţii o prelegere pentru public, *trebuie* s-o faci mai concretă. Oamenii trebuie să lege efectele despre care vorbeşti tu cu viaţa lor de zi cu zi. Cred că ar trebui să introduci ţara relativistă în lecţiile tale. Urmează sfatul domnului Tompkins. Tu eşti prea abstract, prea, prea... *academic*.

— Prea academic, repetă profesorul chicotind. Mereu mi-o repeţi.

— Chiar *eşti*.

— Bine, bine, spuse el împăciuitor. O să mă mai gândesc la asta. Vă daţi seama, continuă el, că nu este *adevărat*. Nici dacă viteza limită ar fi de 20 de mile pe oră, tot n-aţi putea *vedea* trecând o bicicletă scurtată.

— Nu s-ar putea? se miră domnul Tompkins privindu-l derutat.

— Nu ca atare. Nu. Problema este că ceea ce vedeţi cu ochii sau ceea ce fotografiaţi depinde de lumina care ajunge în ochi sau în lentila aparatului *în acelaşi moment de timp*. Dacă lumina de la coada bicicletei are de parcurs un drum mai lung până la dumneavoastră decât cea din faţă, atunci lumina care ajunge la un moment dat de la fiecare din capete trebuie să fi plecat la momente de timp diferite, deci când bicicleta se afla în poziţii diferite. Lumina de la coadă trebuie să fi pornit din — şi să vă apară ca venind din — locul în care se afla atunci bicicleta pe stradă...

Domnul Tompkins nu prea putea urmări, aşa că profesorul s-a oprit. S-a gândit un moment, apoi a ridicat din umeri.

— E aici o mică problemă. Este vorba de faptul că viteza finită a luminii *distorsionează* ceea ce vedeţi. Ce *vedeţi* de fapt în ţara relativităţii este o bicicletă care pare să fie *rotită*.

— *Rotită*! exclamă domnul Tompkins.

— Da. Aşa este. Pare mai degrabă rotită decât scurtată. Doar dacă luaţi aceste observaţii brute — datele din fotografie, să zicem — şi ţineţi cont de timpii diferiţi în care lumina călătoreşte pentru a ajunge în diferitele puncte din fotografie, dacă faceţi calcule (atenţie, spun *faceţi calcule*, nu spun vedeţi!), abia atunci trageţi concluzia că, pentru a se obţine această fotografie, bicicleta trebuie să fie contractată în lungime.

— Iar ai început. Despici firul în patru, îl întrerupse Maud.

— Despic firul în patru! explodă profesorul. Da' de unde...

— Trebuie să mă întorc în cameră. Am nevoie de blocul de desen, anunţă ea. Vă părăsesc. Ne vedem la prânz.

După plecarea lui Maud, domnul Tompkins întrebă:

— O amuză să deseneze, nu-i aşa?

— O amuză... Profesorul îl privi încruntat. Bine că nu v-a auzit. Maud e un artist, un artist profesionist. Şi-a făcut un nume. Nu oricine are o expoziţie retrospectivă într-o galerie de pe Bond Street. Iar luna trecută a apărut în *The Times* un articol lung dedicat în întregime ei.

— Chiar aşa! exclamă domnul Tompkins. Trebuie să fiţi tare mândru de ea.

— Sigur că sunt. Până la urmă a ieşit bine, foarte bine.

— Până la urmă? Ce vreţi să spuneţi...?

— Păi, nimic... Doar că nu este exact ce visam eu pentru ea. Era făcută pentru fizică. Era foarte bună, la liceu era cea mai bună din anul ei la matematică şi fizică. Brusc a lăsat totul baltă. Pur şi simplu...

Vocea îi tremura, însă îşi reveni şi continuă:

— Dar, aşa cum am spus, a avut succes şi e fericită. Ce mi-aş putea dori mai mult?

Privi pe geamul restaurantului.

— Vreţi să veniţi cu mine? Am putea pune mâna pe două şezlonguri, înainte să fie toate ocupate, şi... — adăugă conspirativ, asigurându-se că Maud nu-i prin preajmă — am putea vorbi de-ale noastre.

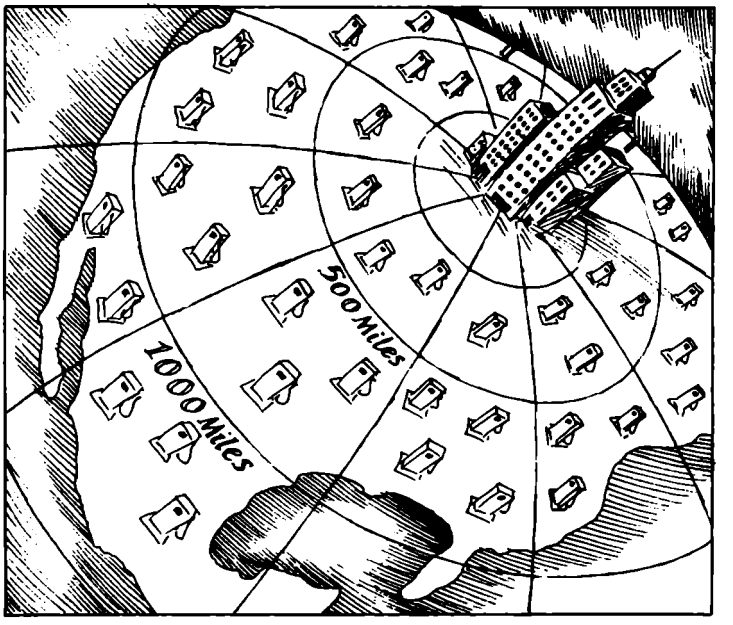
Au mers împreună la plajă şi s-au aşezat într-un loc liniştit.

— Ei bine, începu profesorul, haideţi să ne gândim la spaţiile curbate. Cel mai bine o putem face dacă ne închipuim o suprafaţă — o suprafaţă bidimensională — ca suprafaţa Pământului. Imaginaţi-vă că un magnat al petrolului hotărăşte că vrea să vadă dacă staţiile sale de benzină sunt uniform distribuite într-o ţară oarecare, de pildă America. Se adresează în acest scop celor de la un sediu al companiei de undeva din centrul ţării, de pildă din Kansas City. Ei trebuie să numere staţiile de benzină aflate până la o anumită distanţă de oraş, apoi le numără pe cele aflate până la o distanţă dublă, apoi triplă şi aşa mai departe.

El îşi aminteşte din şcoală că aria cercului e proporţională cu pătratul razei şi se aşteaptă ca, în cazul unei distribuţii uniforme, numărul staţiilor de benzină să crească în ritmul şirului de numere 1 – 4 – 9 – 16 ş.a.m.d. Când a primit raportul, magnatul a fost surprins să vadă că numărul staţiilor creşte puţin mai încet, de pildă ca şirul 1 – 3,9 – 8,6 – 14,7 ş.a.m.d. „Nu pricep, îşi zise el. Oamenii mei nu-şi cunosc meseria. Ce rost are să concentrezi staţiile de benzină în jurul lui Kansas City?" Are dreptate să tragă concluzia asta?

— Aşa se pare, fu de părere domnul Tompkins.

— Nu are, declară profesorul. A uitat că suprafaţa Pământului nu este plană, ci sferică. Pe o sferă, aria din interiorul unei raze date creşte mai încet cu raza decât într-un plan. Priviţi mingea asta — spuse arătând spre o minge de plajă, cu care se ju-



Staţiile de benzină concentrate lângă Kansas City

cau o fată și tatăl ei. Să presupunem că ar fi un glob, cu polul nord marcat pe el. Dacă luăm polul nord drept centru, atunci cercul cu raza egală cu jumătate de meridian este ecuatorul, iar aria din interior este emisfera nordică. Dacă dublezi raza obții întreaga suprafață a Pământului; aria va crește doar de două ori, iar nu de patru, așa cum s-ar fi întâmplat pe un plan. Diferența se datorează curburii pozitive a suprafeței. E clar?

— Da, cred că da, recunoscu domnul Tompkins. Dar de ce ați spus „pozitivă"? Există ceva care se cheamă „curbură negativă?"

— Bineînțeles.

Profesorul privi de jur-împrejur pe plajă, căutând ceva.

— Ia uite! Avem un exemplu chiar aici, spuse arătând spre un băiat călare pe un măgăruș. Șaua. Suprafața șeii măgărușului e un exemplu de curbură negativă.

— O șa? repetă domnul Tompkins.

— Da, sau pe suprafața Pământului, o trecătoare în formă de șa între doi munți. Să presupunem că un botanist locuiește într-o cabană aflată într-o trecătoare în formă de șa și că vrea să știe care e densitatea brazilor din jurul cabanei. Dacă numără brazii care cresc până la o distanță de o sută de metri de cabană, apoi până la două sute de metri ș.a.m.d., va găsi că numărul brazilor crește *mai repede* decât pătratul distanței — exact invers decât se întâmplă în cazul globului. Pentru o suprafață de forma unei șei, aria din interiorul unei raze date e mai mare decât în plan. Asemenea suprafețe se spune că au curbură negativă. Dacă vreți să întindeți suprafața șeii pe un plan, va trebui s-o îndoiți, în timp ce, dacă faceți același lucru cu o suprafață sferică, va trebui s-o rupeți, dacă nu e elastică.

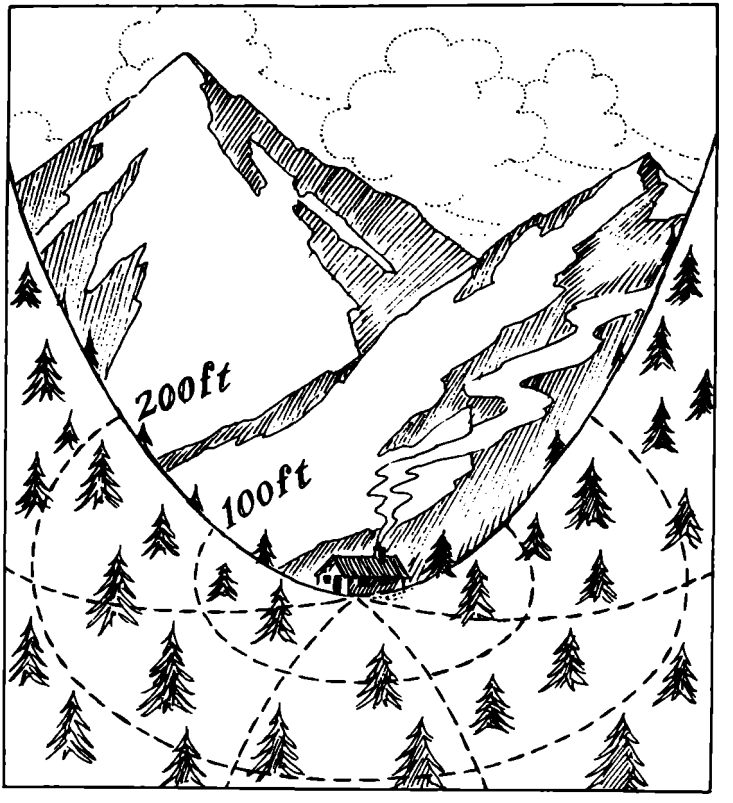
— Am priceput, spuse domnul Tompkins.

— Și încă ceva despre suprafețele în formă de șa, continuă profesorul. Aria unei sfere este finită ($4\pi r^2$); suprafața se închide în ea însăși. Nu este și cazul șeii. O suprafață în formă de șa poate, în principiu, să se extindă la infinit în toate direcțiile. Este o „suprafață deschisă", nu una „închisă". Evident, în

exemplul meu cu trecătoarea-şa de la munte, de îndată ce părăsiţi munţii suprafaţa încetează să mai aibă curbură negativă şi devine suprafaţa curbată pozitiv a Pământului. Dar vă puteţi bineînţeles închipui suprafeţe care îşi păstrează pretutindeni curbura negativă.

— Am înţeles, spuse domnul Tompkins. Iertaţi-mă, dar toate acestea mi se par cât se poate de simple. De ce îmi spuneţi...?

— Fiindcă trebuie să privim exact la fel şi spaţiul tridimensional, nu numai „spaţiile" sau suprafeţele bidimensionale cu



O cabană într-o trecătoare în formă de şa

care am avut până acum de-a face. Spațiile tridimensionale pot fi curbate.

— Cum adică...?

— Raționamentele sunt aceleași ca până acum. Folosim aceeași tehnică. Să presupunem că avem obiecte distribuite uniform în spațiu, de data asta un spațiu tridimensional, nu ca stațiile de benzină distribuite pe suprafața bidimensională a Pământului. Acum ar putea fi vorba de stele, galaxii (mari ansambluri în formă de spirală, alcătuite din stele, împrăștiate prin spațiu) sau roiuri de galaxii. Să presupunem că roiurile de galaxii ar fi mai mult sau mai puțin uniform distribuite, ceea ce înseamnă că distanța dintre ele va fi mereu aceeași. Bun, le numărați la diferite distanțe de dumneavoastră. Dacă numărul lor crește proporțional cu cubul distanței, spațiul e plat. Știți că, în geometria euclidiană normală, volumul unei sfere este proporțional cu cubul razei sale, nu-i așa?

Domnul Tompkins încuviință.

— Bine, continuă profesorul. Dacă numărul roiurilor de galaxii are această variație, atunci spunem că spațiul este „plat", adică realmente euclidian. Dar, dacă descoperim că acest număr crește mai repede sau mai încet, atunci spațiul posedă o curbură pozitivă sau negativă.

— Vreți să spuneți că în cazul curburii pozitive spațiul va avea un volum mai mic la o distanță dată, iar în cazul unei curburi negative va avea un volum mai mare? îndrăzni domnul Tompkins.

— Chiar așa, spuse profesorul zâmbind.

— Adică asta înseamnă că, dacă spațiul ar avea curbură pozitivă, spațiul acesta din jurul nostru, atunci volumul mingii de plajă nu ar fi $4/3\ \pi r^3$, ci ceva mai mic?

— Exact. Iar în cazul curburii negative ar fi ceva mai mare. Vă dați seama, adăugă profesorul, la o sferă atât de mică diferența ar fi minusculă; nu ați putea-o detecta. Singura speranță ar fi să faceți măsurători pe distanțe uriașe, ca acelea din astronomie; de asta vorbesc despre distanțele dintre roiurile de galaxii împrăștiate prin Univers.

— Extraordinar, murmură domnul Tompkins.

— Aşa e, recunoscu profesorul. Dar asta nu e totul. În cazul în care curbura e negativă, ne aşteptăm ca spaţiul tridimensional să se întindă la infinit în toate direcţiile, exact ca suprafaţa bidimensională a şeii. Pe de altă parte, o curbură pozitivă implică faptul că spaţiul tridimensional este finit şi închis.

— Ce înseamnă asta?

— Ce înseamnă asta? zise profesorul căzând pe gânduri. Înseamnă că dacă decolaţi vertical cu o navă spaţială de la Polul Nord şi continuaţi să zburaţi în aceeaşi direcţie — în linie dreaptă — ajungeţi în cele din urmă înapoi pe Pământ, venind din direcţia opusă şi aterizând la Polul Sud.

— Dar e imposibil! exclamă domnul Tompkins.

— La fel de imposibil cum ar fi pentru un explorator care presupune că Pământul e plat şi îl străbate călătorind mereu spre vest, iar astfel, crezând că se îndepărtează tot mai mult de punctul din care a plecat, ajunge exact de unde a pornit, venind dinspre est. Şi încă ceva...

— Ajunge, protestă domnul Tompkins, pe care deja îl apucase ameţeala.

— Universul e în expansiune, continuă profesorul fără să-l bage în seamă. Roiurile de galaxii despre care vorbeam se îndepărtează unele de altele. Cu cât este mai departe un roi de galaxii, cu atât mai repede se îndepărtează. Totul se datorează marii explozii, big bang. Aţi auzit de big bang, nu-i aşa?

Domnul Tompkins dădu din cap afirmativ, întrebându-se unde o fi plecat Maud.

— Bun, reluă interlocutorul său. Aşa a început Universul. A fost mai întâi o mare explozie şi totul a început dintr-un punct. Nu exista nimic înainte de big bang, nici spaţiu, nici timp, absolut nimic. Atunci a început *totul*. Roiurile de galaxii încă se mai îndepărtează unele de altele ca urmare a acelei gigantice explozii. Dar acum ele *încetinesc* datorită forţelor gravitaţionale cu care acţionează unul asupra altuia. Întrebarea crucială este dacă roiurile de galaxii se îndepărtează suficient de repede

pentru a scăpa de atracţia gravitaţiei lor (caz în care universul va fi pentru totdeauna în expansiune) sau dacă într-o bună zi se vor opri, iar apoi se vor prăbuşi unul spre altul. Asta ar duce la big crunch, marea implozie.

— Ce s-ar întâmpla atunci, după marea implozie? întrebă domnul Tompkins din nou cu interes.

— Păi ar fi chiar *asta.* Sfârşitul. Universul şi-ar înceta existenţa. Sau ar putea re-exploda: marea re-explozie. Ar putea fi un univers în oscilaţie: expansiune, urmată de o contracţie, urmată de un alt ciclu de expansiune ş.a.m.d. pe vecie.

— Şi ce se va întâmpla? întrebă domnul Tompkins. Va continua pentru totdeauna expansiunea sau se va transforma într-o bună zi în marea implozie?

— Nu se ştie cu certitudine. Depinde de cantitatea de materie din univers — materia căreia i se datorează forţa gravitaţională de încetinire. Echilibrul pare foarte delicat. Densitatea medie a materiei e foarte apropiată de ceea ce numim *valoare critică* — valoarea limită care separă cele două scenarii. E greu de spus, fiindcă acum ştim că cea mai mare parte a materiei din univers nu e luminoasă; nu este ca materia din stele; nu străluceşte. O numim materie întunecată [*dark matter*]. Fiind întunecată, este mult mai greu de detectat, dar ştim că reprezintă cel puţin 99% din toată materia, iar asta face ca densitatea totală să se apropie de valoarea critică.

— Păcat, zise domnul Tompkins. Mi-ar fi plăcut să ştiu în ce direcţie se îndreaptă universul. Ce ghinion că e atât de greu de stabilit densitatea materiei!

— Mă rog... da şi nu. Faptul că densitatea este atât de apropiată de valoarea critică (dintre toate valorile posibile pe care ni le imaginăm că le-ar fi putut lua) ne face să bănuim că trebuie să existe motive profunde pentru asta. Multă lume crede că imediat după big bang a intrat în funcţiune un mecanism care a dus automat densitatea la această valoare specială. Cu alte cuvinte, n-ar fi tocmai o coincidenţă faptul că densitatea materiei se află în preajma valorii critice; nu-i o întâmplare;

trebuia să aibă valoarea critică. De fapt, credem că ştim despre ce mecanism e vorba. Se numeşte *teoria inflaţionară*...

— Jargon, tati!

Cei doi au fost surprinşi de sosirea lui Maud. A venit prin spate pe când erau prinşi în conversaţia lor.

— Fă o pauză, spuse ea.

— Aşteaptă o clipă, insistă profesorul.

Întorcându-se spre prietenul său, continuă:

— Înainte de a fi întrerupţi atât de brutal eram pe punctul să spun că toate aceste lucruri despre care am vorbit sunt legate. Dacă există suficientă materie pentru a provoca marea implozie, atunci există suficientă şi pentru a produce o curbură pozitivă, iar ca rezultat am avea un univers închis, cu un volum finit. Pe de altă parte, dacă nu există suficientă materie...

Aici făcu o pauză, invitându-l pe domnul Tompkins să continue povestea.

— Păi... Dacă, aşa cum spuneţi, nu ar exista destulă materie... păi... — domnul Tompkins se simţea tare stânjenit nu neapărat fiindcă făcea figură de prost în faţa profesorului, dar gândul că Maud asculta îl punea în mare încurcătură. Da, aşa cum spuneam, dacă nu există destulă materie pentru a atinge densitatea critică, atunci Universul va fi în expansiune continuă şi... şi... ei bine, cred că pot ghici, s-ar obţine curbura negativă...? iar Universul ar fi infinit...?

— Excelent! exclamă profesorul. Ce elev!

— Da, foarte bine, recunoscu Maud. Dar ştim cu toţii că densitatea e probabil să aibă valoarea critică, astfel ca expansiunea să se oprească în cele din urmă, dar numai într-un viitor infinit. Am mai auzit povestea asta. Acum mergem să facem o baie?

A trecut ceva timp până când domnul Tompkins să-şi dea seama că întrebarea îi fusese adresată:

— Cu mine vorbiţi? Vreţi să mergem să înotăm?

— Doar nu vă închipuiţi că vorbeam cu *el*! râse ea.

— Păi... nu sunt pregătit. Trebuie să mă duc să-mi iau costumul de baie.

— Bineînțeles. Mă gândeam și eu că ar trebui să purtați *ceva*, zise ea aruncându-i o privire plină de subînțeles.

4 Notițele de la lecția profesorului despre spațiul curb

Doamnelor și domnilor,

Subiectul de astăzi este spațiul curb și legătura lui cu fenomenul gravitației.

E clar că nu întâmpinăm nici o dificultate pentru a ne închipui o linie curbă sau o suprafață curbă. Cum ne-am putea însă închipui un spațiu curb, un spațiu *tridimensional* curb? Este evident imposibil să ne facem o imagine mentală a felului în care ar putea arăta un spațiu tridimensional curb. Pentru asta ar trebui cumva să privim „din afară" — dintr-o altă dimensiune (la fel cum vedem curbura unei suprafețe bidimensionale privind felul în care se extinde în cea de-a treia dimensiune). Există însă o altă cale de a studia curbura, o abordare matematică, nu una bazată pe vizualizare.

Să considerăm mai întâi curbura unei suprafețe bidimensionale. Noi, matematicienii, spunem că această suprafață este curbă dacă proprietățile figurilor geometrice desenate pe ea sunt diferite de cele de pe un plan. Vom determina gradul de curbură măsurând abaterea de la regulile clasice ale lui Euclid. De exemplu, dacă desenați un triunghi pe o foaie de hârtie plană, suma unghiurilor lui va fi egală cu două unghiuri drepte (după cum știți din geometria elementară). Puteți răsuci această hârtie astfel încât să obțineți un cilindru, un con sau o formă și mai complicată, dar suma unghiurilor din triunghiul desenat pe ea va rămâne întotdeauna egală cu două unghiuri drepte. Geometria suprafeței nu se schimbă prin asemenea deformări. Din punctul de vedere al curburii „interne" sau *intrinseci*, suprafețele

obţinute sunt exact la fel de plane ca atunci când foaia e dreaptă, nerăsucită (chiar dacă în mod obişnuit numim asemenea suprafeţe „curbe").

Pe de altă parte, nu puteţi lipi o foaie de hârtie pe suprafaţa unei sfere sau a unei şei fără s-o întindeţi sau s-o rupeţi. Aceasta se întâmplă deoarece geometria suprafeţei unui glob este fundamental diferită de cea a unei suprafaţe plane. Să considerăm de exemplu un triunghi pe un glob. Pentru a desena un triunghi pe o sferă vom avea nevoie de echivalentul a trei „linii drepte". La fel ca pe o suprafaţă plană, vom defini „linia dreaptă" pe o suprafaţă curbă ca fiind distanţa cea mai mică dintre două puncte. Prin urmare e vorba de arcele cercurilor mari — cercurile mari sunt intersecţiile suprafeţelor sferice cu planele care trec prin centrul globului (de exemplu, liniile de longitudine ale Pământului sunt cercuri mari). Dacă aţi desena un triunghi folosind asemenea arce, aţi găsi că teoremele simple ale geometriei euclidiene nu mai sunt valabile. Într-adevăr, un triunghi format din jumătăţile nordice a două meridiane şi sectorul de ecuator dintre ele va avea două unghiuri drepte la bază şi un unghi arbitrar de mare la vârf — cu suma unghiurilor evident mai mare decât două unghiuri drepte.

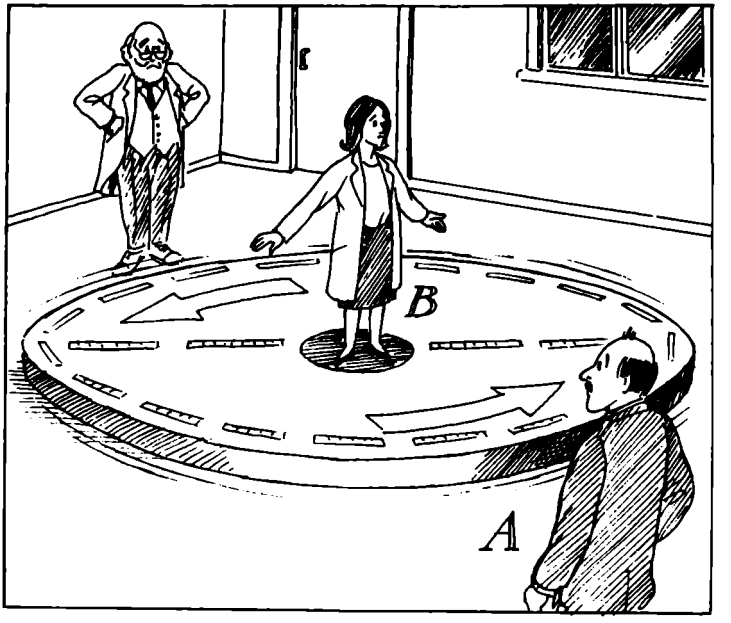
Pe de altă parte, la un triunghi desenat pe o şa veţi găsi că suma unghiurilor va fi întotdeauna mai mică decât două unghiuri drepte.

Astfel, pentru a determina curbura unei suprafeţe trebuie să studiem *geometria* acestei suprafeţe. Privind-o numai din afară, ne putem înşela. Aţi fi probabil tentaţi să consideraţi că suprafaţa unui cilindru face parte din aceeaşi categorie cu suprafaţa unui glob. Dar, aşa cum am mai spus, prima este de fapt asemeni unei suprafeţe plane, iar numai cea de-a doua este curbă, în sensul că are o curbură *intrinsecă*. Pe măsură ce vă familiarizaţi cu această noţiune matematică riguroasă de curbură, nu veţi mai avea dificultăţi să înţelegeţi ce vrea să spună un fizician când se întreabă dacă spaţiul tridimensional în care trăim e sau nu curb. Nu-i nevoie să ieşi „în afara" spaţiului

tridimensional pentru a vedea dacă „arată" curb. Putem rămâne înăuntrul acestui spaţiu şi efectua experimente pentru a vedea dacă legile geometriei euclidiene sunt sau nu valabile.

V-aţi putea întreba ce motiv avem să ne aşteptăm ca geometria spaţiului să fie altfel decât ne spune „bunul-simţ" euclidian. Pentru a vedea că geometria depinde de condiţiile fizice, să ne închipuim o platformă mare, rotundă, învârtindu-se uniform în jurul unei axe, ca un platan de picup. Să presupunem că mici rigle sunt puse cap la cap în linie dreaptă de-a lungul unei raze ce pleacă din centru către un punct de pe circumferinţă. Alte rigle sunt plasate de-a lungul circumferinţei, formând un cerc.

Conform unui observator A, în repaus faţă de camera în care se află platforma, riglele aşezate de-a lungul circumferinţei se mişcă pe direcţia lungimii lor atunci când platforma se roteşte.



E nevoie de mai multe rigle pentru a închide cercul

Ele vor fi prin urmare contractate în lungime (aşa cum am aflat în prima lecţie). E nevoie deci de *mai multe* rigle pentru a închide cercul decât ar fi fost nevoie dacă platforma s-ar fi aflat în repaus. Riglele plasate de-a lungul razei, orientate astfel încât să facă un unghi drept cu direcţia de mişcare, nu vor suferi contractarea. Va fi nevoie deci de acelaşi număr de rigle pentru a acoperi distanţa de la centru la periferie, indiferent de mişcarea platformei.

Astfel, distanţa măsurată de-a lungul circumferinţei C (în termenii numărului de rigle necesare) va fi mai mare decât aşteptatul $2\pi r$, r fiind raza măsurată.

După cum am văzut, toate acestea par perfect normale pentru observatorul A în termenii contracţiei lungimii produse de mişcarea riglelor de pe circumferinţă. Dar cum stau lucrurile pentru un observator B, plasat în centrul platformei şi rotindu-se împreună cu ea? Cum i se vor părea lui toate astea? El va vedea acelaşi număr de rigle ca şi observatorul A şi astfel va trage concluzia că raportul dintre circumferinţă şi rază nu se conformează geometriei euclidiene. Dar să presupunem că platforma ar fi o cameră închisă, fără ferestre, astfel încât el nu ar observa nici o mişcare. Cărui fapt ar putea să-i atribuie această geometrie neobişnuită?

Observatorul B ar putea să nu ştie nimic despre mişcare, dar şi-ar da seama că se întâmplă ceva ciudat în jur. El ar observa că obiectele plasate în diferite locuri pe platformă nu rămân în repaus. Sunt accelerate către periferie, acceleraţia depinzând de distanţa lor faţă de centru. Cu alte cuvinte, ele par să fie supuse unei forţe (forţa centrifugă). Este o forţă ciudată pentru că face ca toate obiectele aflate la o anume distanţă de centru să capete aceeaşi acceleraţie, indiferent de masă. Altfel spus, „forţa" pare să-şi ajusteze automat intensitatea pentru a corespunde masei obiectului, producând întotdeauna acceleraţia caracteristică unei poziţii date. Observatorul B va trage concluzia că trebuie să existe o legătură între această „forţă" şi geometria neeuclidiană pe care o găseşte.

Să considerăm acum drumul unei raze de lumină. Pentru observatorul staţionar A, lumina are întotdeauna o traiectorie rectilinie. Să ne imaginăm însă un fascicul luminos care intră în spaţiul platformei rotitoare. Deşi conform observatorului A fasciculul va continua să se deplaseze în linie dreaptă, traiectoria sa urmărită de pe platformă *nu* va mai fi dreaptă. Aceasta deoarece lumina are nevoie de un timp finit pentru a străbate platforma, iar în timpul acesta platforma se roteşte cu un anumit unghi. (E ca şi cum aţi împinge un cuţit ascuţit în linie dreaptă de-a lungul unui disc care se roteşte; zgârietura de pe suprafaţă nu va fi dreaptă, ci curbă.) Astfel, observatorul B din centrul platformei în rotaţie ar considera că fasciculul luminos străbate turnanta de la un capăt la altul pe o traiectorie curbă, nu dreaptă. Acest fenomen, ca şi cel care implică circumferinţa şi raza, ar fi atribuit de observatorul B unei „forţe" ce caracterizează condiţiile fizice speciale din preajma sa.

Această „forţă" nu afectează doar geometria, incluzând aici traiectoria fasciculului luminos, dar şi curgerea timpului. Acest fapt poate fi demonstrat plasând un ceas la marginea platformei. Observatorul B va găsi că ceasul merge mai încet decât unul plasat în centru. Fenomenul e uşor de înţeles din perspectiva observatorului staţionar A. Din punctul său de vedere, ceasul plasat pe marginea turnantei se mişcă datorită rotaţiei platformei, iar astfel timpul său este dilatat faţă de ceasul plasat în centru, care rămâne în aceeaşi poziţie. Observatorul B, fără să-şi dea seama de mişcare, va atribui încetinirea ceasului prezenţei unei „forţe". Vedem astfel că atât geometria cât şi trecerea timpului pot depinde de condiţiile fizice.

Să trecem acum la o situaţie fizică diferită — pe care o întâlnim aproape de suprafaţa Pământului. Orice obiect este atras spre centrul Pământului de forţa gravitaţiei. Situaţia seamănă oarecum cu felul în care toate obiectele plasate pe platforma rotitoare sunt împinse spre margine. Similitudinea este întărită dacă observăm că acceleraţia la care sunt supuse obiectele nu depinde de masa lor; ea depinde numai de poziţie. Corespon-

dența dintre gravitație și mișcarea accelerată devine și mai limpede în exemplul următor:

Să considerăm o navă spațială ce plutește liber undeva în spațiu, atât de departe de orice stea, încât nu se mai află sub influența nici unei forțe gravitaționale. Toate obiectele dinăuntrul navei, inclusiv astronautul, vor fi complet lipsite de greutate și vor pluti liber. Dacă motoarele sunt aprinse, viteza navei crește. Ce se întâmplă înăuntru? E ușor de văzut că, atâta vreme cât nava este accelerată, toate obiectele din interior vor avea tendința să se miște spre capătul din spate al navei — spre ceea ce am putea numi „podeaua". Altfel spus, podeaua se va mișca spre aceste obiecte. Dacă, de exemplu, astronautul nostru ține un măr în mână și îi dă drumul, mărul va continua să se miște (față de stelele din jur) cu o viteză constantă — viteza pe care o avea nava în momentul în care mărul a fost lăsat liber. Dar nava e accelerată; în consecință, podeaua, mișcându-se tot mai repede, va ajunge mărul din urmă și îl va lovi. Din acest moment mărul va rămâne permanent în contact cu podeaua, fiind presat spre ea de accelerația constantă.

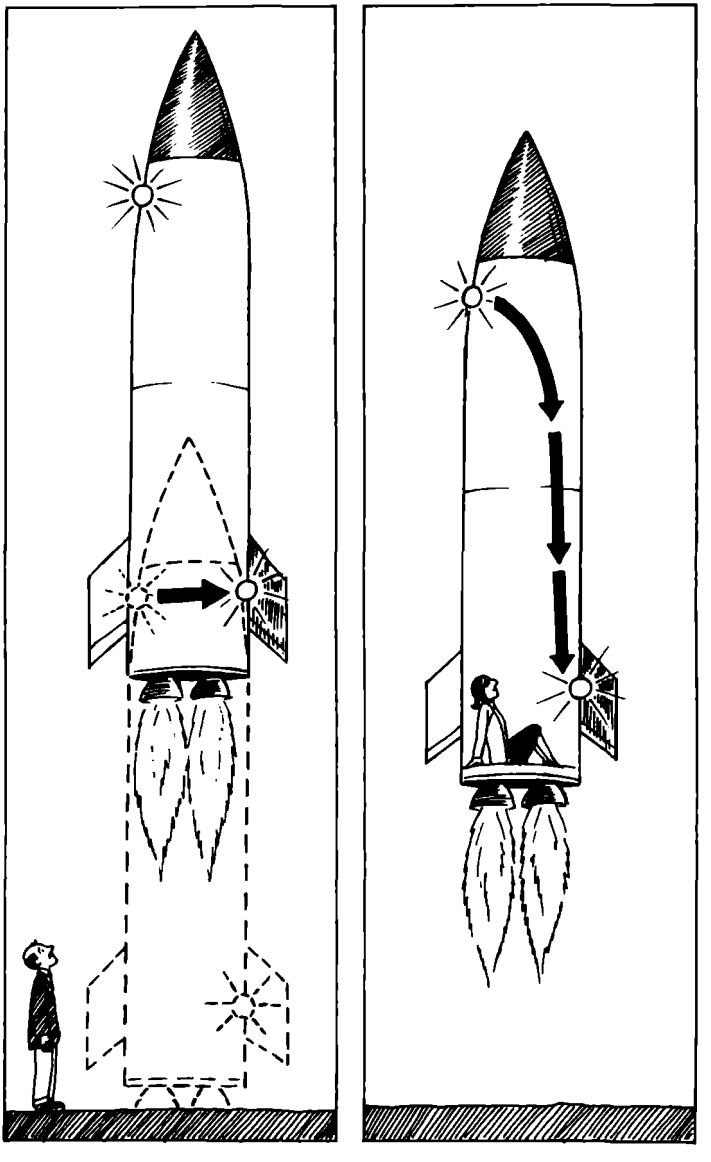
Însă, pentru astronautul dinăuntru va fi ca și cum mărul ar „cădea" cu o anume accelerație, iar după ce atinge podeaua ar rămâne împins spre ea de propria lui „greutate". Dând drumul și altor obiecte, va constata că acestea cad cu exact aceeași accelerație (neglijând frecarea cu aerul) și își va aminti că aceasta este exact legea căderii libere descoperită de Galileo Galilei când a lăsat să cadă bile din turnul înclinat din Pisa. *De fapt, astronautul nu va observa nici o diferență între fenomenele din nava accelerată și fenomenele obișnuite ale gravitației.* Dacă vrea, poate folosi un ceas cu pendulă, poate pune cărți pe un raft fără teama că vor pluti și poate atârna un tablou de un cui în perete. Tabloul ar putea fi chiar un portret al lui Albert Einstein — cel care a descoperit echivalența dintre accelerarea unui sistem de referință și prezența unui câmp gravitațional. Pornind de la această bază simplă a elaborat Einstein așa-numita teorie *generală a relativității*. De teoria sa *specială* a relativității ne-am

ocupat până acum: efectele mişcării rectilinii şi uniforme asupra spaţiului şi timpului. Teoria *generală* adaugă efectele gravitaţiei asupra spaţiului şi timpului. Şi, aşa cum am spus, aceasta se realizează observând echivalenţa dintre gravitaţie şi mişcarea *accelerată*.

De exemplu, să luăm în considerare cazul unui fascicul de lumină. Am reţinut că în condiţiile unei acceleraţii centrifuge a platformei rotitoare, un fascicul luminos va apărea ca având o traiectorie curbată. Acelaşi lucru se aplică şi unei raze de lumină ce străbate o navă spaţială accelerată. Un observator din afară ar vedea că fasciculul se mişcă în linie dreaptă. Fasciculul porneşte spre punctul exact opus de pe peretele din faţă. Dacă nava ar fi în repaus, el ar lovi peretele exact în acel punct. Dar, din cauza acceleraţiei navei în timpul deplasării fasciculului de-a lungul cabinei, peretele opus se mişcă. Drept rezultat, fasciculul atinge un punct situat mai jos decât cel vizat iniţial — un punct mai aproape de „podea". Astronautul va observa acelaşi lucru: fasciculul luminos porneşte spre un punct situat exact în faţă, dar sfârşeşte într-un punct situat mai aproape de „podeaua" cabinei. Din punctul de vedere al acestui observator, fasciculul luminos străbate o traiectorie *curbă* şi „cade" spre „podea". Mai mult, e ceva în neregulă şi cu geometria de acolo; suma unghiurilor unui triunghi format de trei raze de lumină nu este egală cu două unghiuri drepte, iar raportul dintre circumferinţa unui cerc şi raza acestuia nu este egală cu 2π.

Ajungem astfel la o întrebare de maximă importanţă. Tocmai am văzut că într-un sistem de referinţă accelerat nu numai obiectele „cad", dar şi razele de lumină „cad" spre „podea", urmând o traiectorie curbă. Ne putem întreba atunci dacă, în conformitate cu principiul echivalenţei, putem trage concluzia că razele de lumină sunt curbate de *gravitaţie*.

Pentru a afla valoarea estimată a curbării unei raze de lumină în câmpul gravitaţional, vom analiza cât de mare ne aşteptăm să fie curbarea în cazul navei spaţiale accelerate. Dacă



Un fascicul de lumină străbate o navă spaţială accelerată

l este lungimea cabinei, atunci timpul t necesar luminii pentru a o străbate este

$$t = \frac{l}{c} \tag{5}$$

În acest timp nava, mişcându-se cu acceleraţia g, va parcurge distanţa L dată de următoarea formulă din mecanica elementară:

$$L = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} g \frac{l^2}{c^2} \tag{6}$$

Astfel, unghiul care reprezintă schimbarea de direcţie a razei de lumină este de ordinul de mărime

$$\Theta = \frac{L}{l} = \frac{1}{2} g \frac{l}{c^2} \tag{7}$$

unde unghiul Θ e exprimat în radiani (1 radian reprezintă aproximativ 57 de grade). Vedem că Θ este cu atât mai mare cu cât distanţa l parcursă de lumină în câmpul gravitaţional este mai mare. Aici acceleraţia g a navei trebuie, firește, să fie interpretată ca acceleraţie datorată gravitaţiei. Dacă trimit un fascicul luminos prin această sală de curs, lungimea l ar fi cam 10 metri. Acceleraţia gravitaţiei la suprafaţa Pământului este de 9,81 m/s şi

$c = 3 \times 10^8$ *m/s*, astfel că vom obţine

$$\Theta = \frac{1}{2}(9{,}81 \times 10)/(3 \times 10^8)^2 = 5 \times 10^{-16} \text{ radiani}$$

$$= 10^{-10} \text{ secunde de arc.} \tag{8}$$

Putem vedea deci că în aceste condiţii observarea curbării luminii e imposibilă. Totuşi, în apropierea suprafeţei Soarelui g este 270 m/s^2, iar lungimea totală a traiectoriei parcurse în câmpul gravitaţional al Soarelui e foarte mare. Calculele exacte arată că valoarea deviaţiei unei raze de lumină care trece pe lângă suprafaţa solară trebuie să fie de 1,75 secunde de arc.

Este exact valoarea observată de astronomi pentru deplasarea poziţiilor aparente ale stelelor, văzute lângă marginea discului solar în timpul unei eclipse totale, în raport cu aceleaşi poziţii reperate noaptea la alte momente din an, când Soarele este în altă parte a cerului. Evident însă, de la apariţia radioastronomiei, care înregistrează emisiile puternice ale unor galaxii numite *quasari*, nici măcar nu mai e nevoie să aşteptăm o eclipsă totală de soare; undele radio care sunt emise de quasari şi trec prin apropierea discului solar pot fi detectate în plină zi. Observarea lor ne dă cea mai precisă măsurătoare a curburii razelor de lumină.

Putem trage concluzia că devierea razelor de lumină întâlnită în sistemele accelerate se aplică în mod echivalent şi în cazul câmpului gravitaţional. Ce putem spune despre celălalt efect ciudat pe care l-a constatat observatorul B de pe platforma rotitoare — cel conform căruia un ceas situat la o anumită distanţă de el, spre periferia platformei, rămâne în urmă? Rezultă oare de aici că un ceas plasat la o anumită distanţă de noi în câmp gravitaţional se comportă la fel? Cu alte cuvinte, efectele acceleraţiei şi ale gravitaţiei sunt nu numai similare, ci chiar identice?

Răspunsul la această întrebare poate fi dat numai prin experimente directe. Şi, într-adevăr, ele demonstrează că timpul poate fi afectat într-un câmp gravitaţional obişnuit. Efectele prezise pornind de la echivalenţa dintre o mişcare accelerată şi un câmp gravitaţional sunt foarte mici: de aceea au fost descoperite abia atunci când oamenii de ştiinţă au pornit anume în căutarea lor.

Folosind exemplul platformei rotitoare despre care am vorbit mai sus, putem estima ordinul de mărime al modificărilor prezise în bătăile ceasului. Se ştie din mecanica elementară că forţele centrifuge care acţionează asupra unei particule de masă egală cu o unitate, situată la o distanţă r de centru, este dată de formula

$$F = r\omega^2 \qquad (9)$$

unde ω este viteza unghiulară constantă de rotaţie a platformei noastre. Lucrul mecanic total efectuat de această forţă pentru a deplasa particula dinspre centru către margine este

$$W = \frac{1}{2} R^2 \omega^2 \tag{10}$$

unde R este raza platformei.

Conform principiului de echivalenţă mai sus menţionat, trebuie să identificăm F cu forţa gravitaţiei pe platformă şi W cu diferenţa de potenţial gravitaţional dintre centru şi margini.

Acum să ne amintim că, aşa cum am văzut în lecţia precedentă, întârzierea ceasului care se mişcă cu viteza v este dată de factorul

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Acest factor poate fi aproximat prin

$$1 - \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2} + \ldots.$$

Dacă v este mic în comparaţie cu c, putem neglija ceilalţi termeni. Conform cu definiţia vitezei unghiulare vom avea $v = R\omega$, iar „factorul de încetinire" devine

$$1 - \frac{1}{1}\left(\frac{R\omega}{c}\right)^2 = 1 - \frac{W}{c^2} \tag{11}$$

ceea ce ne dă diferenţa ritmurilor ceasurilor în termenii diferenţei de potenţial gravitaţional între locurile unde acestea se află.

Astfel, dacă ne imaginăm că punem un ceas la nivelul solului şi un altul în vârful turnului Eiffel (circa 300 m înălţime), diferenţa de potenţial dintre ele va fi atât de mică, încât ceasul de pe pământ va merge mai încet cu un factor de doar 0,999 999 999 999 97 în comparaţie cu cel din vârf.

De fapt, un experiment efectuat de R.V. Pound şi G.A. Rebka a demonstrat acest mic efect examinând diferenţa frecvenţelor vibraţiilor atomice între vârful şi baza unui turn de 22,5 metri. Acelaşi efect a fost pus în evidenţă comparându-se valorile date de ceasurile atomice dintr-un avion cu cele de la sol. Acordul între teorie şi experiment se obţine numai dacă, pe lângă dilatarea timpului provocată de mişcarea avionului (relativitatea specială), se mai ţine cont şi de încetinirea ceasului de la sol în comparaţie cu cel din aer, datorată diferenţei de potenţial gravitaţional.

Efecte considerabil mai mari decât acestea pot fi întâlnite atunci când e implicată gravitaţia mult mai intensă a Soarelui. Diferenţa de potenţial gravitaţional dintre suprafaţa Pământului şi cea a Soarelui este mult mai mare, ducând la o încetinire cu un factor de 0,999 999 5. Aceasta e mult mai uşor de măsurat şi conduce la prima confirmare a acestor idei. Firește, nimeni nu poate să aşeze un ceas pe suprafaţa Soarelui şi să-i urmărească indicaţiile! Fizicienii au mijloace mai bune. Folosind un spectroscop putem observa perioadele de vibraţie ale diferiţilor atomi de pe suprafaţa Soarelui şi le putem compara cu perioadele de vibraţie ale atomilor aceloraşi elemente din flacăra unei lămpi Bunsen în laborator. Vibraţiile atomilor pe suprafaţa Soarelui ar trebui să fie încetinite cu un factor dat de ecuaţia (11) şi, în consecinţă, lumina emisă sau absorbită de ei ar avea o frecvenţă ceva mai mică decât în cazul surselor terestre, adică frecvenţele vor fi deplasate către capătul roşu al spectrului. Această *deplasare gravitaţională spre roşu* a fost observată în spectrul Soarelui şi al altor stele, iar rezultatele au fost în acord cu predicţiile formulelor teoretice. Se dovedeşte deci că procesele din Soare au loc puţin mai lent decât cele de pe Pământ, datorită diferenţei de potenţial gravitaţional.

Toate aceste observaţii au demonstrat echivalenţa dintre efectele acceleraţiei şi cele ale gravitaţiei. Să ne întoarcem acum la curbarea spaţiului.

Vă amintiţi că am ajuns la concluzia că geometria obţinută în sistemele de referinţă accelerate este diferită de geometria lui

Euclid, şi că asemenea spaţii trebuie considerate spaţii curbe. Deoarece orice câmp gravitaţional e echivalent cu o accelerare a sistemului de referinţă, rezultă de asemenea că orice spaţiu în care e prezent câmpul gravitaţional este un spaţiu curb. Sau, făcând încă un pas, putem spune că *un câmp gravitaţional este chiar manifestarea fizică a curburii spaţiului.*

Ştim că gravitaţia apare în apropierea maselor. Curbura spaţiului în fiecare punct e de aşteptat să fie determinată de distribuţia maselor, iar valorile maxime să fie atinse în vecinătatea obiectelor masive. Nu voi intra în sistemul matematic destul de complicat care descrie proprietăţile spaţiului curb şi felul în care ele depind de distribuţia maselor. Voi menţiona doar că această curbură este determinată nu de unul, ci de zece numere diferite, cunoscute drept componente ale potenţialului gravitaţional, $g_{\mu\nu}$, şi reprezintă o generalizare a potenţialului gravitaţional din fizica clasică pe care l-am notat cu W în ecuaţia (10). În mod corespunzător, curbura în fiecare punct este descrisă prin zece raze de curbură diferite, notate de regulă cu $R_{\mu\nu}$. Aceste raze de curbură sunt legate de distribuţia de mase prin ecuaţia fundamentală a lui Einstein:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -8\pi G T_{\mu\nu} \qquad (12)$$

unde R este un alt fel de curbură, iar termenul sursă $T_{\mu\nu}$ (reprezentând *cauza* curbării) depinde de densităţi, viteze şi alte proprietăţi ale câmpului gravitaţional produse de mase. G este constanta gravitaţională obişnuită.

Această ecuaţie a fost testată, de exemplu, studiind mişcarea planetei Mercur — planeta cea mai apropiată de Soare, şi prin urmare cea a cărei orbită depinde cel mai mult de detaliile ecuaţiei lui Einstein. S-a găsit că periheliul orbitei (adică punctul cel mai apropiat de Soare al orbitei în formă de elipsă alungită pe care planeta o parcurge) nu rămâne fix în spaţiu, ci la fiecare parcurgere a orbitei orientarea sa în raport cu Soarele se deplasează. O parte a acestei precesii poate fi atribuită per-

turbării câmpului gravitaţional de către celelalte planete, iar o parte poate fi explicată, în termenii relativităţii speciale, prin creşterea masei datorită mişcării planetei. Mai rămâne însă o mică diferenţă de 43 de secunde de arc pe secol, de care vechea teorie newtoniană a gravitaţiei nu poate da socoteală, dar care îşi găseşte imediat explicaţia în termenii relativităţii generale.

Aceste observaţii, împreună cu rezultatele experimentale menţionate mai sus, confirmă părerea că relativitatea generală este teoria gravitaţiei care se potriveşte cel mai bine cu ceea ce vedem că se întâmplă în univers.

Înainte de a încheia lecţia, daţi-mi voie să prezint alte două consecinţe interesante ale ecuaţiei (12).

Dacă vom considera un spaţiu umplut uniform cu mase, aşa cum e, de pildă, spaţiul nostru umplut cu stele, galaxii, roiuri de galaxii, trebuie să ajungem la concluzia că, în afara unor curburi mari localizate în vecinătatea unor anumite stele sau galaxii, spaţiul ar trebui să aibă o curbură *generală* datorată efectului combinat al tuturor maselor — o tendinţă de a curba uniform spaţiul pe distanţe mari. Există soluţii matematice diferite. Unele dintre ele corespund unor spaţii care în cele din urmă se închid în ele însele şi deci posedă un volum finit, ceva similar unei sfere. Celelalte reprezintă spaţii curbe, dar nu atât de curbate încât să ducă la închidere; atunci spaţiul se extinde la infinit, fără să aibă margini — asemănător suprafeţelor în formă de şa menţionate la începutul lecţiei.

O a doua consecinţă importantă a ecuaţiei (12) este aceea că spaţiile curbe ar trebui să se afle într-o stare de continuă expansiune sau contracţie. Din punct de vedere fizic aceasta înseamnă că particulele (sau stelele şi galaxiile) care umplu spaţiul ar trebui să fugă unele de altele sau, dimpotrivă, să se apropie unele de altele. Se poate demonstra de asemenea că pentru un spaţiu închis cu un volum finit, faza de expansiune va fi urmată de o fază de contractare (cu eventuale alte faze ulterioare de expansiune şi contractare — ceea ce conduce la un univers

oscilant). Pe de altă parte, un spaţiu „în formă de şa" ar continua pe veci să se extindă.

Întrebarea care dintre aceste posibilităţi matematice corespunde spaţiului în care trăim e o problemă de mare actualitate. Ea poate fi rezolvată doar prin observaţii experimentale asupra mişcării roiurilor de galaxii (inclusiv a ritmului lor de încetinire) şi prin însumarea tuturor maselor prezente în univers, pentru a calcula apoi cât de mare va fi efectul de încetinire. Deocamdată datele astronomice nu sunt concludente. Deşi e evident că acum ne aflăm într-o fază de expansiune a universului, nu s-a stabilit încă dacă expansiunea se va transforma vreodată într-o contractare (şi, prin urmare, dacă spaţiul e finit sau infinit).

5 Domnul Tompkins vizitează un univers închis

În seara aceea, la Beach Hotel, profesorul şi fiica sa erau adânciţi în conversaţie. Discutau liber despre cosmologie şi despre artă. Domnul Tompkins intervenea din când în când, după puterile sale, dar cea mai mare parte a timpului se mulţumea doar să privească şi să asculte. Era fascinat de Maud; nu mai întâlnise pe nimeni ca ea. Dar până la urmă simţi că-l cuprinde somnul şi se retrase. Urcă scările, ajunse în cameră, se dezbrăcă, îşi puse repede pijamaua şi se trânti în pat, trăgându-şi pătura pe cap. Totul se amestecase în creierul lui obosit.

Zăcea în pat şi un gând nu-i dădea pace. Tipul de cosmologie care îi aţâţa într-adevăr curiozitatea era cel al unui univers închis — acela în care dacă pleci de la Polul Nord şi mergi în linie dreaptă ajungi la Polul Sud. Măcar ar fi un univers cu volum finit (pur şi simplu nu-şi putea închipui volumul infinit al unui univers deschis). Profesorul părea să aibă motivele sale să considere că densitatea materiei are valoarea critică, astfel încât această ciudată călătorie prin Univers nu era posibilă, iar expansiunea nu lăsa locul unei contracţii şi unei mari implozii. Dar dacă se înşela? Dacă există ceva mai multă materie întunecată decât s-a estimat? Dacă...?

Gândurile sale fură întrerupte când îşi dădu seama că stă incomod. Avea senzaţia stranie că nu se afla pe o saltea confortabilă cu arcuri, ci întins pe ceva tare. Dădu pătura la o parte şi privi în jur. Spre uimirea sa, se găsea afară, pe o lespede de piatră. Hotelul dispăruse!

ÎȘI DĂDU SEAMA CĂ STĂ INCOMOD

Piatra era acoperită cu un muşchi verde, iar din loc în loc mici tufişuri creşteau printre crăpăturile lespezilor. Deasupra, pâlpâiau lumini şi era foarte mult praf. De fapt, era mai mult praf decât văzuse vreodată, chiar şi în filmele despre furtunile de nisip din Vestul Mijlociu american. Îşi puse batista la nas ca să nu inspire praful.

În jur îl pândeau însă pericole şi mai grozave decât praful. Pietre cât capul lui, ba chiar mai mari, se învârteau prin spaţiu şi izbeau pământul în apropierea lui. Observă de asemenea una sau două stânci de vreo 10 metri lungime plutind prin spaţiu la oarecare distanţă.

Alt lucru ciudat era că părea să nu existe un orizont la mare distanţă — deşi el se afla cocoţat destul de sus. Se hotărî să exploreze împrejurimile şi începu să se târască. Pentru că piatra se curba în jos cam abrupt, trebui să se agaţe de colţuri, temându-se mereu că va cădea. Dar treptat descoperi ceva ciudat: deşi coborâse o bună parte din stânca abruptă — atât de abruptă încât nu mai putea vedea pătura pe care o lăsase sus — nu simţea nici o tendinţă de a cădea; era împins mai departe către suprafaţă, în deplină siguranţă. Încurajat, continuă să se târască. Până la urmă îşi dădu seama că trebuie să fi străbătut cam 180° — cu alte cuvinte că s-ar afla exact *sub* punctul de unde pornise — şi tot nu avea vreo tendinţă să cadă în adâncimile pline de praf ale spaţiului din jur. Se afla probabil exact cu capul în jos faţă de locul din care pornise. Atunci îşi dădu seama că stânca pe care stătea nu părea să se sprijine pe nimic. Era o planetă! O mică planetă asemănătoare stâncilor zburătoare pe care le văzuse.

Spre marea sa surpriză şi uşurare, chiar în acea clipă fu cât pe ce să se ciocnească de picioarele unei persoane cunoscute. Era profesorul. Stătea acolo şi-şi nota de zor observaţiile într-un carnet.

— Oh, dumneavoastră sunteţi! spuse profesorul abia băgându-l în seamă. Ce căutaţi pe jos? Aţi pierdut ceva?

Ruşinat, domnul Tompkins îşi luă mâinile de pe stânca de care se agăţa şi se ridică în picioare. I se luă o piatră de pe inimă

când văzu nu numai că nu cade în spaţiu, dar nici măcar nu se simţea dezechilibrat. Începu să înţeleagă ce se întâmplă. Îşi aminti că aflase în şcoală că Pământul e o stâncă mare şi rotundă care se învârte liber prin spaţiu în jurul Soarelui. Orice obiect e atras către centrul Pământului, astfel încât nu există nici un pericol de „a cădea", indiferent de locul în care te afli pe suprafaţa lui. Acum el era atras blând dar ferm către centrul acestei noi „planete" — o planetă atât de mică încât populaţia ei număra două suflete.

— Bună seara, spuse domnul Tompkins. Ce uşurare să vă întâlnesc!

Profesorul îşi ridică ochii din carnet.

— Aici nu există seară, spuse el. Aici nu există Soare, şi se întoarse la preocupările sale.

Domnul Tompkins se simţea stingherit; să te întâlneşti cu singura fiinţa vie din întreg universul şi s-o găseşti atât de ocupată! Pe neaşteptate, un mic meteorit îi veni în ajutor. Piatra lovi carnetul din mâna profesorului şi îl zvârli cât colo. Carnetul zbură în spaţiu, departe de mica planetă.

— Vai, spuse domnul Tompkins, sper că nu era ceva important. Nu cred că gravitaţia noastră este atât de puternică încât să-l aducă înapoi.

Priveau amândoi cum carnetul îşi continuă călătoria spre adâncurile îndepărtate ale spaţiului, devenind din ce în ce mai mic.

— Nu vă faceţi probleme, răspunse profesorul. Spaţiul în care suntem acum nu se întinde la infinit. Ştiu că la şcoală vi s-a spus că nu încape vreo îndoială că spaţiul e infinit şi că două linii paralele nu se întâlnesc niciodată. Toate astea nu mai sunt valabile în acest univers particular în care ne aflăm acum. Universul nostru normal este, firește, foarte mare: aproximativ 100 000 000 000 000 000 000 000 de kilometri, din câte se cunosc deocamdată, dimensiune care pentru cele mai multe probleme poate fi considerată infinită. Dacă aş fi pierdut carnetul acolo, ar trebui să aştept un timp incredibil de lung ca

să se întoarcă — chiar şi presupunând că ar fi un univers închis, ca acesta. Aici, situaţia e diferită. Exact înainte să-mi fie smuls carnetul din mână, notasem că spaţiul de aici are numai 5 mile în diametru şi se află în expansiune. Mă aştept să primesc înapoi carnetul în cel mult o jumătate de oră.

— Vreţi să spuneţi că obiectul a plecat într-una din acele călătorii dus-întors în linie dreaptă, se aventură domnul Tompkins. Ca acelea despre care vorbeaţi, pornind de la Polul Nord...

— ...şi aterizând la Polul Sud? Ei bine, da, spuse profesorul. Exact. Acelaşi lucru este pe cale să se întâmple şi cu carnetul meu, dacă nu cumva se loveşte pe drum de vreo piatră care să-l abată de la traiectoria dreaptă.

— Şi asta n-are a face cu gravitaţia de pe micuţa noastră planetă care îl atrage înapoi?

— Nu, deloc. Din punctul de vedere al gravitaţiei, carnetul ar fi pierdut în spaţiu. Luaţi binoclul ăsta şi spuneţi dacă-l mai vedeţi.

Domnul Tompkins duse binoclul la ochi şi, prin praful care estompa întreaga imagine, reuşi să vadă carnetul profesorului călătorind prin spaţiu la mare, mare distanţă. Fu surprins de culoarea rozalie a tuturor obiectelor îndepărtate, culoare pe care o avea şi carnetul.

— Carnetul dumneavoastră se întoarce, strigă emoţionat. Da, da, devine din ce în ce mai mare acum!

— Nu, nu, spuse profesorul, continuă să se îndepărteze. Daţi-mi-l mie! — luă binoclul şi privi atent. Aşa cum am spus, încă se îndepărtează. Faptul că pare din ce în ce mai mare — *ca şi cum* ar veni înapoi — se explică printr-un ciudat efect de focalizare a razelor de lumină datorat naturii închise, sferice a spaţiului.

Lăsă jos binoclul şi se scărpină în capul care începea să încărunţească.

— Cum să mă exprim mai clar?... Da. Să presupunem că ne aflăm din nou pe Pământ şi să ne imaginăm că razele de lumină orizontale (adică îndreptate spre orizont) ar putea fi

obligate să parcurgă în permanenţă o traiectorie ce înconjoară suprafaţa curbă a Pământului (de pildă, prin refracţie pe atmosferă). În aceste condiţii, dacă un atlet ar alerga îndepărtându-se de noi, oricât de departe ar ajunge, am putea, folosind binocluri puternice, să-l vedem pe tot parcursul călătoriei. Acum, dacă ne gândim la glob, veţi vedea că cele mai drepte linii de pe suprafaţă, meridianele, mai întâi diverg de la poli, dar, după ce trec ecuatorul, încep să conveargă spre polul opus. Dacă razele de lumină parcurg o traiectorie de-a lungul meridianelor, dumneavoastră, aflat de pildă la unul din poli, veţi vedea atletul care se îndepărtează devenind din ce în ce mai mic până când ajunge la ecuator. Apoi îl veţi vedea din ce în ce mai mare; ar fi ca şi cum s-ar întoarce, cu toate că merge mai departe. Când ajunge la polul opus, îl veţi vedea exact la fel de mare ca şi când s-ar afla alături de dumneavoastră. Nu-l veţi putea atinge, firește, aşa cum nu puteţi atinge imaginea formată într-o oglindă sferică. Comportamentul luminii ce parcurge suprafaţa bidimensională curbă a Pământului poate fi folosit ca analogie pentru ce se întâmplă cu fasciculul luminos în acest straniu spaţiu curb tridimensional în care ne aflăm. Am impresia că e momentul să sosească imaginea carnetului.

Nu sfârşi bine cuvintele, iar imaginea carnetului apăru la o distanţă de câţiva metri şi continua să se apropie. Era suficient de mare încât să nu mai fie nevoie de binoclu pentru a o vedea. Arăta însă destul de ciudat; contururile nu erau clare, păreau estompate, iar scrisul de pe copertă cu greu putea fi descifrat; carnetul arăta ca o fotografie prost focalizată şi subexpusă.

— Vedeţi acum doar o imagine, nu obiectul real, spuse profesorul. Priviţi cât este de distorsionat de lumina care a avut de parcurs jumătate din univers. Şi mai observaţi cum se vede o altă planetă mică în spatele carnetului, printre paginile lui.

Domnul Tompkins încercă să „apuce" carnetul pe când trecea pe lângă ei, dar mâna lui trecu prin imagine fără să întâmpine vreo rezistenţă.

— Nu, nu, îl certă profesorul, carnetul se află acuma foarte aproape de *polul opus* al universului. Aşa cum am spus, ce vedeţi e doar o imagine, de fapt sunt două imagini ale carnetului. Cea de-a doua imagine e chiar în spatele dumneavoastră, iar, în momentul în care cele două imagini se vor suprapune pentru o clipă, carnetul se va afla exact la polul opus.

Domnul Tompkins nu auzi; era prea absorbit de gânduri, încercând să-şi aducă aminte cum se formează imaginile obiectelor în optica elementară cu oglinzi convexe, concave sau lentile. Când în fine se dădu bătut, cele două imagini se îndreptau în direcţii opuse.

— Şi toate efectele acestea ciudate se datorează materiei din univers? întrebă el în cele din urmă.

— Aşa este. Materia pe care stăm, micuţa noastră planetă, curbează spaţiul în imediata noastră apropiere, iar astfel suntem menţinuţi pe suprafaţa sa. Dar mai mult decât atât, gravitaţia acestei planete se combină cu cea a celorlalte mase din univers pentru a produce curbarea generală care dă naştere acestui efect de lentilă. De fapt, în relativitatea generală putem renunţa să vorbim despre „forţe" gravitaţionale ca atare, ajunge să gândim doar în termeni de curbură.

— Spuneţi-mi însă, vă rog, dacă n-ar exista materie, am avea acea geometrie despre care am învăţat la şcoală, iar liniile paralele nu s-ar întâlni niciodată?

— Într-adevăr, răspunse profesorul, numai că n-ar exista nici o fiinţă materială care să-şi dea seama de asta.

Între timp, imaginea carnetului se îndepărtase din nou în direcţia iniţială, iar acum părea să se întoarcă pentru a doua oară. Era încă şi mai neclară decât prima dată şi abia putea fi recunoscută, ceea ce, după explicaţiile profesorului, se datora faptului că de data asta raza de lumină străbătuse întreg universul.

— Şi dacă am da o raită pe cealaltă parte a planetei... adăugă el, luându-l de braţ pe domnul Tompkins şi parcurgând cei câţiva metri care îi despărţeau de cealaltă faţă a planetei.

— Acolo, arăta el indicând în direcţia opusă. Vedeţi? Iată carnetul meu. E gata să-şi încheie călătoria în jurul universului.

Cu un zâmbet triumfător întinse mâna, prinse carnetul şi îl vârî în buzunar.

— Necazul cu universul ăsta plin de praf şi de pietre e că nu poţi să vezi lumea de la un capăt la altul al ei. Priviţi aceste umbre fără contur din jurul nostru. Probabil că ele reprezintă imaginile noastre şi ale obiectelor din preajmă. Numai că sunt atât de distorsionate de praf şi de neregularităţile curburii spaţiului, încât nu le mai poţi identifica.

— La fel se întâmplă şi în universul nostru normal, cel în care locuim? întrebă domnul Tompkins.

— Probabil că nu. Cu siguranţă nu dacă ne-am afla exact la densitatea critică. Dar — adăugă profesorul clipind din ochi — trebuie să recunoaşteţi că e destul de amuzant să te gândeşti la asemenea lucruri, nu-i aşa?

Cerul se schimbase mult. Părea să fie mai puţin praf în jur, astfel că domnul Tompkins îşi luă batista de la nas. Pietrele mici treceau şi cădeau pe micuţa planetă mult mai rar şi o izbeau cu mult mai puţină energie. În plus, celelalte planete se îndepărtaseră şi abia puteau fi zărite.

— Trebuie să recunosc că viaţa a devenit mult mai puţin înspăimântătoare acum, spuse el. Dar s-a făcut tare frig.

Îşi luă pătura şi se înfăşură în ea.

— Puteţi să-mi explicaţi schimbările petrecute în jurul nostru? întrebă el întorcându-se spre profesor.

— Foarte simplu. Micul nostru univers e în expansiune şi, de când suntem aici, raza sa a crescut de la opt la aproape o sută şaizeci de kilometri. De cum am ajuns aici am observat această expansiune după înroşirea obiectelor îndepărtate.

— Ah, am observat eu că totul e roz la distanţe mari, spuse domnul Tompkins, dar ce legătură are asta cu expansiunea?

— Nu-i chiar aşa greu de înţeles, răspunse profesorul. Pun pariu că aţi băgat de seamă că sirena unei ambulanţe sună foarte ascuţit atunci când se apropie, dar, după ce trece, sunetul devine mult mai jos. E vorba de aşa-numitul efect Doppler: dependenţa înălţimii (sau frecvenţei) sunetului de viteza sursei. Dacă în-

treg spaţiul se află în expansiune, orice obiect se îndepărtează cu o viteză proporţională cu distanţa faţă de observator. Prin urmare, lumina emisă de asemenea obiecte este de frecvenţă mai joasă, ceea ce corespunde în optică unei deplasări spre roşu a luminii. Cu cât obiectul e mai departe, cu atât se mişcă mai repede şi cu atât ni se pare mai roşu. În universul nostru normal, care e de asemenea în expansiune, *deplasarea cosmologică spre roşu*, aşa cum o numim noi, permite astronomilor să estimeze distanţa faţa de galaxiile foarte îndepărtate. De exemplu, una dintre cele mai apropiate galaxii, Andromeda, prezintă o înroşire de 0,05%; aceasta corespunde unei distanţe care poate fi acoperită de lumină în opt sute de mii de ani. Dar există şi galaxii aflate chiar la limita puterii actuale a celor mai puternice telescoape, care prezintă o deplasare spre roşu de aproximativ 500%, ceea ce corespunde unei distanţe de circa zece mii de milioane de ani-lumină (un „an-lumină" — aşa cum arată şi numele — este distanţa parcursă de lumină într-un an). Această lumină a fost emisă pe când universul avea mai puţin de o cincime din dimensiunile sale actuale. Ritmul actual de expansiune este de aproximativ 0,000 000 01% pe an. Micuţul univers de aici creşte mult, mult mai repede, mărindu-şi dimensiunile cu aproximativ 1% pe minut.

— Expansiunea acestui univers se va opri vreodată? întrebă domnul Tompkins.

— Bineînţeles, spuse profesorul. V-am spus într-una din lecţii că pentru un univers închis ca acesta expansiunea se va opri în cele din urmă, fiind urmată de o fază de contractare. Pentru un univers atât de mic, faza de expansiune ar putea dura numai vreo două ore.

— Două ore! repetă domnul Tompkins. Dar asta ar însemna că nu mai e mult până... Vocea i se stinse pe măsură ce îşi dădea seama de consecinţe.

— Da, şopti profesorul. Cred că ne aflăm acum în faza de maximă expansiune. De aceea s-a făcut atât de frig.

Într-adevăr, radiaţia termică ce umple universul, şi care era acum distribuită într-un volum foarte, foarte mare, mai dădea

doar foarte puţină căldură planetei; temperatura ajunsese aproape de punctul de îngheţ.

— Norocul nostru că la început a fost destulă radiaţie ca să mai dea puţină căldură chiar şi în stadiul ăsta de expansiune, adăugă profesorul. Altminteri s-ar fi făcut atât de rece încât aerul din jurul stâncii noastre s-ar fi condensat într-un lichid şi am fi murit îngheţati.

Privi din nou prin binoclu.

— Da, zise el după un timp. A început contractarea. Curând va fi din nou cald.

Îi oferi binoclul domnului Tompkins ca să privească cerul. Acesta observă că toate obiectele îndepărtate îşi schimbaseră culoarea din roz în albastru. După spusele profesorului, aceasta se datora faptului că toate corpurile stelare începuseră să se apropie de ei. Îşi aminti şi de analogia cu sunetele înalte ale sirenei unei ambulanţe ce se apropie. Frecându-şi mâinile ca să se mai încălzească, spuse:

— Bine ar fi să se facă din nou cald.

Imediat însă un gând îl fulgeră. Se întoarse îngrijorat spre profesor:

— Dacă totul se contractă acum, nu ne putem aştepta ca în curând toate stâncile care umplu universul să se apropie şi să ne strivească între ele?

— Mă întrebam cât va mai dura până să vă daţi seama, răspunse calm profesorul. Dar nu vă temeţi: înainte să se întâmple asta, temperatura va creşte atât de mult încât vom fi vaporizaţi! Vă sugerez să vă întindeţi pe jos şi să priviţi cu atenţie, cât timp mai puteţi.

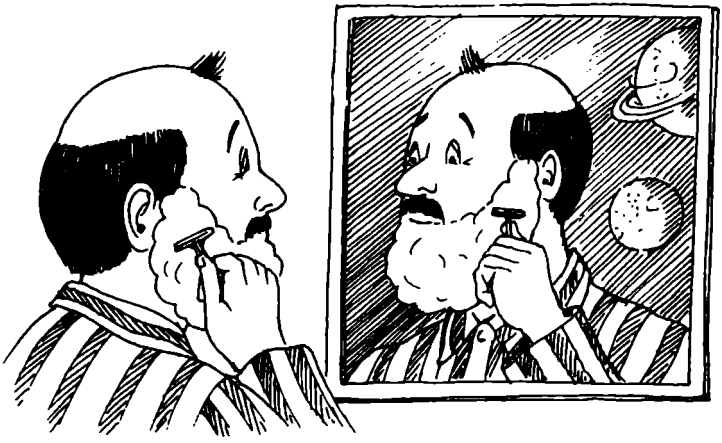
— Vai de mine! gemu domnul Tompkins. Deja mi-e prea cald chiar şi în pijama.

În scurt timp, aerul deveni irespirabil. Praful, deosebit de des acum, se aduna în jurul lui şi simţea că se sufocă. Se zbătea să iasă din aşternut şi brusc reuşi să scoată capul la aer curat. Trase adânc aer în piept.

— Ce se întâmplă? îl întrebă pe profesor — dar descoperi că însoţitorul său dispăruse. În lumina palidă a zorilor îşi re-

cunoscu camera de hotel. Oftă uşurat şi ieşi din aşternutul care se răsucise după o noapte tare zbuciumată.

— Slavă Domnului că suntem încă în expansiune! mormăi el şi se duse la baie. Era cât pe ce să mă rad, îşi zise în timp ce-şi căuta aparatul de ras.



6 Opera cosmică

Era cea din urmă seară a vacanței, iar domnul Tompkins și Maud făceau ultimul tur de-a lungul plajei, pe malul mării. Trecuse oare numai o săptămână de când se cunoscuseră? Deși la început, fiind timid din fire, era foarte emoționat când vorbea cu ea, au ajuns să se cunoască destul de bine pentru ca dialogul lor să se lege cu ușurință. Domnului Tompkins i se părea uimitor că un om poate avea preocupări atât de diverse. Mai mult, era încântat să vadă că și ea, la rândul ei, părea că se bucură să-l aibă alături. Nu pricepea de ce. E drept însă că profesorul îi spusese odată în treacăt că fiica lui trecuse printr-o mare decepție; logodna ei cu un funcționar de rang înalt sfârșise brusc. Poate că se simțea mai protejată cu el și cu viața lui monotonă, dar sigură.

Privea în sus spre Calea Lactee.

— Trebuie să-ți spun că tatăl tău a deschis o întreagă lume pentru mine, o lume nouă. E trist că mulți trec prin viață fără să-și dea seama ce minunată e lumea.

Ridicând un pumn de pietriș, luă la țintă o piatră ce ieșea din apă. Îi aruncă apoi o privire pe furiș.

— De ce nu vrei să-mi arăți schițele?

— Ți-am spus. Nu sunt din cele pe care să le arăți. Sunt schițe de *lucru*, idei. Numai idei. Asta-i tot. Încerc să prind *senzația* locului. Ție nu ți-ar spune nimic. Doar când am să ajung înapoi în atelier și am să lucrez la ele va ieși ceva, sau poate că nu va ieși nimic.

— Atunci, pot să te vizitez la atelier după ce ne întoarcem?

— Sigur. Mi-ar părea rău dacă n-ai veni.

Erau deja înapoi la hotel. Domnul Tompkins a comandat ceva de băut şi s-au aşezat să privească marea pentru ultima dată.

— Tatăl tău mi-a spus că la un moment dat erai destinată unei cariere în fizică, începu el.

— N-aş zice, râse ea. Asta era ce visa *el* să fac.

— Bine, dar erai bună la fizică, nu? insistă domnul Tompkins.

— Da, s-ar putea spune că da.

— Şi atunci de ce...?

— De ce? repetă ea visătoare. Nu ştiu. Adolescentă rebelă, poate. Pe vremea aceea nu era prea uşor pentru o fată să-şi manifeste preocuparea pentru ştiinţe. Biologie mai mergea, dar în nici un caz fizică. Presiunea colegilor şi toate celelalte... Acum e cu totul altfel sau, mă rog, nu mai e chiar atât de rău.

— Dar cum se face că te pricepi aşa bine la fizică, după atâta timp?

— Exagerezi. Am uitat mult cu timpul. În afară de astronomie şi cosmologie. Am încercat acum să mă pun la curent. Asta îmi aduce aminte de... şi îl privi zâmbind.

— De ce îţi aduce aminte?

— Ai chef să mergem la operă?

— La operă! exclamă el. Ce... ce vrei să spui? Ce-are a face opera cu toate astea?

— Oh, nu-i operă *adevărată*, adăugă ea râzând. E cu amatori. A fost scrisă mai demult de cineva de la catedra tatei. E vorba despre teoria big bang-ului şi teoria universului staţionar...

— Univers staţionar? Asta ce mai înseamnă?

— Teoria universului staţionar spune că universul nu a început cu un big bang...

— Dar noi ştim că aşa a început. Tatăl tău mi-a vorbit despre expansiunea universului, despre faptul că galaxiile continuă să se îndepărteze ca urmare a marii explozii, protestă domnul Tompkins.

— Da, numai că asta nu dovedeşte nimic. Au existat fizicieni ca Fred Hoyle, Hermann Bondi şi Tommy Gold, care au sugerat că Universul poate continua să se reînnoiască pe sine. Pe măsură ce galaxiile se îndepărtează, în spaţiul rămas în urmă se creează materie nouă. Aceasta se adună laolaltă pentru a forma noi stele şi galaxii, care la rândul lor se îndepărtează pentru a face loc altei materii, şi aşa mai departe.

— Bine, dar cum au început toate astea? întrebă domnul Tompkins, evident mirat.

— Păi, n-au început. N-a fost nici un început, nici un moment iniţial. Aşa s-a întâmplat dintotdeauna şi aşa va fi pentru totdeauna. E o lume fără început şi fără sfârşit. De aceea se numeşte teoria stării staţionare; în esenţă, lumea arată la fel tot timpul.

— Îmi place cum sună, spuse entuziasmat domnul Tompkins. Este exact... exact ce *simt* şi eu în legătură cu asta. Înţelegi ce vreau să spun? Ideea de big bang nu mă prea atrage. Te întrebi de ce s-o fi întâmplat exact în acel moment al timpului; de ce nu în alt moment? Pare atât de... atât de *arbitrară*, într-un fel. Dar dacă nu există un început...

— Stai! Stai! îl întrerupse Maud. Nu te ambala! Teoria universului staţionar e moartă. Moartă şi îngropată.

— Oh, făcu domnul Tompkins dezamăgit. De ce? Cum poţi fi atât de sigură?

Dar înainte ca Maud să-i poată răspunde, tatăl ei a intrat pe uşa hotelului şi i-a reamintit că trebuie să se scoale devreme a doua zi. Când îşi luă rămas-bun de la domnul Tompkins, acesta se grăbi s-o întrebe:

— Şi cu opera cum rămâne?

— Ah, da. Sâmbătă seară, la ora 8, în amfiteatrul de fizică, acolo unde ţine tata cursurile. Departamentul reia *Opera cosmică*. Aşa, de distracţie... Se împlinesc 50 de ani de când a fost propusă teoria universului staţionar. Cred că ăsta e pretextul. Ne vedem acolo.

Acestea fiind zise, îşi urmă tatăl în hotel, întorcând puţin capul ca să-i trimită domnului Tompkins un sărut jucăuş de noapte bună.

* * *

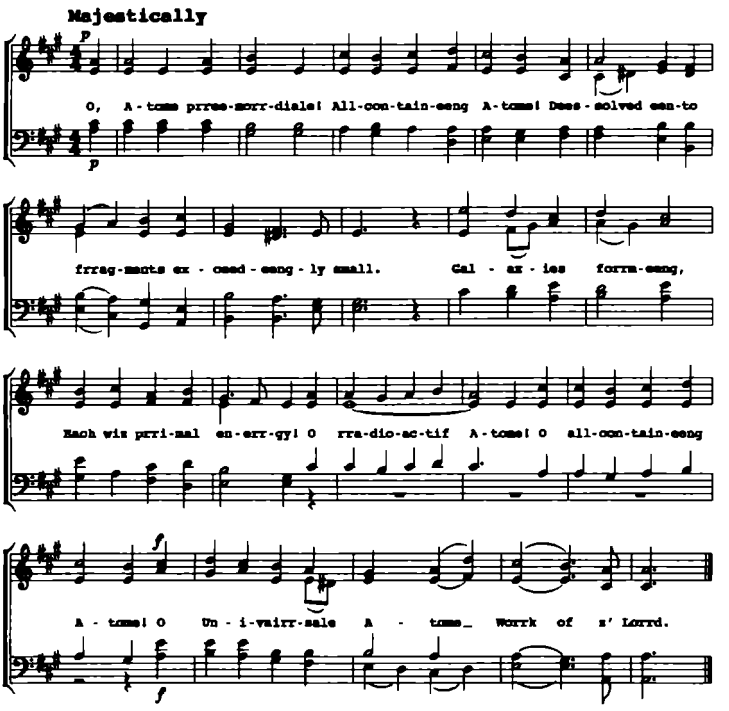
Se adunase un public numeros pentru spectacol. Teatrul era aproape plin când domnul Tompkins şi-a ocupat locul, alături de profesor şi Maud.

— Mai bine te-ai uita prin program, îi spuse Maud. Repede, înainte să se stingă luminile. N-ai să înţelegi cine sunt personajele.

El răsfoi rapid foile dactilografiate primite la intrare. Tocmai ajunsese la capătul prezentării generale când sala fu cufundată în întuneric, iar o orchestră formată din şase instrumentişti înghesuiţi într-un spaţiu îngust lângă podium se lansă în preludiu, *precipite volissimevolmente*. La aplauzele furtunoase ale studenţilor care formau cea mai mare parte a publicului, cortina improvizată în jurul podiumului fu dată la o parte. Imediat, toţi au trebuit să-şi ducă mâna la ochi, fiindcă scena era orbitor luminată. Intensitatea era atât de mare încât scălda întreg teatrul într-un ocean strălucitor de lumină.

— Idiotul ăsta de regizor tehnic! O să ardă toate siguranţele din clădire! şopti furios profesorul. Dar nu s-a întâmplat aşa. Treptat, strălucirea big bang-ului păli, lăsând în urmă un spaţiu întunecat, luminat de o mulţime de artificii învârtindu-se rapid în cerc. Probabil că trebuiau să reprezinte galaxiile care s-au format la ceva timp după big bang.

— Acum or să dea foc la tot, şuieră mânios profesorul. Nu trebuia să le dau voie să pună în scenă tâmpenia asta.

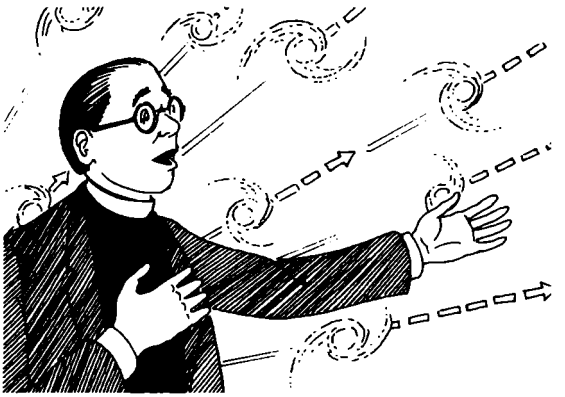
Maud se întoarse spre el şi îl bătu uşor pe umăr, atrăgându-i atenţia că „idiotul ăsta de regizor tehnic" stătea discret în colţul scenei cu un extinctor în mână, gata să intervină în orice clipă. Între timp, studenţii se minunau cu voce tare, ca nişte copii mici care asistă la un foc de artificii, pentru ca, în clipa în care intră în scenă un bărbat în sutană neagră şi cu guler de preot, să le piară graiul. În program scria că era abatele Georges Lemaître din Belgia, primul care a propus teoria big bang a universului în expansiune. Îşi începu aria cântând cu un accent puternic:

Majestically
O, A - tems prree-morr-dials! All-con-tain-eeng A-tems! Dees-solved een-to
frrag-ments ex - eeed - eeng - ly small. Gal - ax - ies forrm-eeng,
Each wis perri-mal en-err-gy! O rra-dio-ac-tif A-tems! O all-con-tain-eeng
A - tems! O Un - i-vairr-sale A - tems_ Worrk of z' Lorrd.

O, Atom prhimorhdial!
Atotcuprhinzătorh Atom
Dizolvat în fărhâme incrhedibil de mici!
Forhmând galaxii,
Fiecarhe cu enerhgia ei prhimarhă!
O, Atom rhadioactiv!
Atotcuprhinzătorh Atom!
O, Atom univerhsal —
Crheaţie a Domnului!

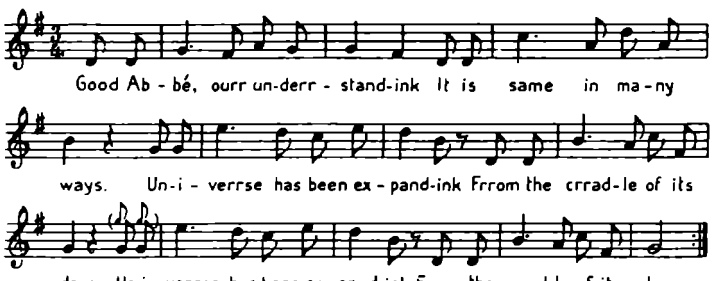
Îndelungata evoluţie
Marhtorhă fost-a la cumplite focurhi de arhtificii
Ce-au sfârhşit în scrhum şi şoapte mocnite.
Stăm pe ceenuuşă

Sorhi stinşi ne-nconjoarhă,
Încerhcăm să ne-amintim
Strhălucirrea începutului.
O, Atom univerhsal —
Crheaţie a Domnului!

Părintele Lemaître îşi încheie aria în ovaţii tumultuoase venite din partea studenţească a publicului (care e limpede că petrecuse prima parte a serii la bar). În scenă apăru acum un tip înalt care (iarăşi după câte scria în program) era fizicianul George Gamow, născut în Rusia şi stabilit apoi în Statele Unite. Ajunse în centrul scenei şi începu să cânte:



Îşi încheie aria în ovaţii tumultuoase


Good Ab - bé, ourr un-derr - stand-ink It is same in ma-ny
ways. Un-i - verrse has been ex - pand-ink Frrom the crrad-le of its
days. Un-i - verrse has been ex - pand-ink Frrom the crrad-le of its days.

Preabunule abate, iată,
De-acord cu tine sunt într-o privinţă:
Tot universul se dilată
Din clipa când a luat fiinţă.
Tot universul se dilată
Din clipa când a luat fiinţă.

Câştigă în mişcare-ai susţinut.
Vai, nu-ţi pot da dreptate!
Şi despre felu'-n care s-a născut
Avem opinii separate.
Şi despre felu'-n care s-a născut
Avem opinii separate.

A fost, o spun deschis, fluid de neutroni —
Nici vorbă de atom primordial
Fără sfârşit ca veşnicia de eoni,
Bătrân ca infinitul abisal.
Fără sfârşit ca veşnicia de eoni,
Bătrân ca infinitul abisal.

Iar gazul viaţa-ncet şi-o curmă
În prăbuşirea fără de hotare,
Cu sute de milioane de-ani în urmă
Căzând în cea mai densă stare.
Cu sute de milioane de-ani în urmă
Căzând în cea mai densă stare.

Şi-n clipa aceea omnipotentă
Spaţiul întreg era lucire sublimă.
Lumina-i e materiei transcendentă
La fel cum este metrul pentru rimă.
Lumina-i e materiei transcendentă
La fel cum este metrul pentru rimă.

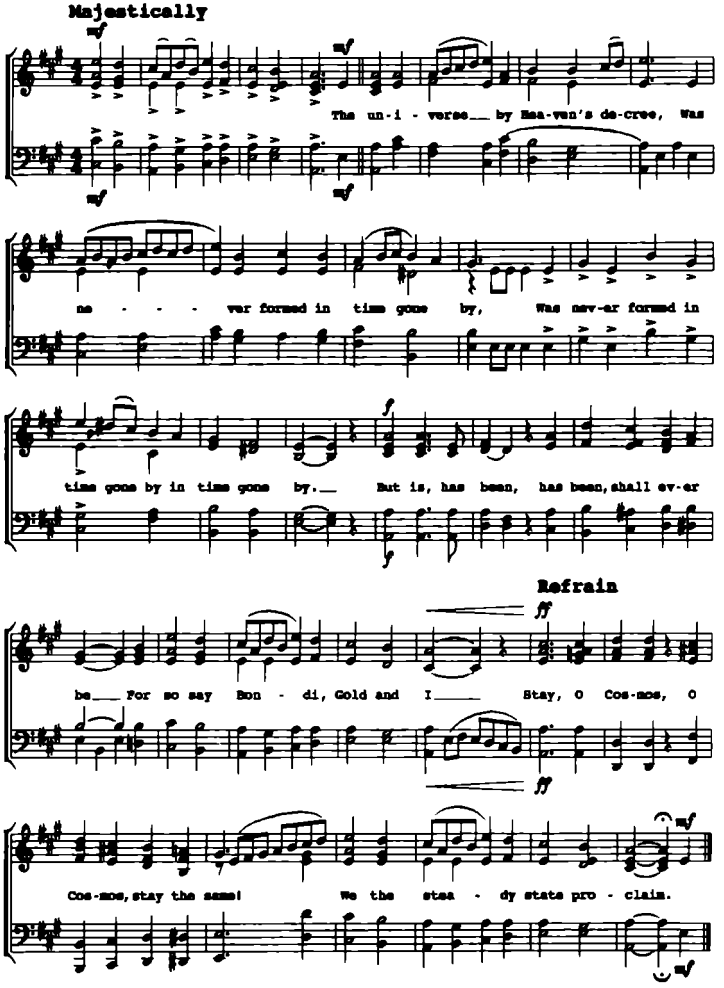
La fiecare tonă de radiaţie
Materie era doar cât un ac,
Pân' ce impulsul lumii spre inflaţie
Dădu uriaşul, primul bobârnac.
Pân' ce impulsul lumii spre inflaţie
Dădu uriaşul, primul bobârnac.

Lumina de atuncea tot pălea
Milioane de veacuri trecură
Materia-ntre timp o depăşea
Sporind treptat peste măsură.
Materia-ntre timp o depăşea
Sporind treptat peste măsură.

Conform ipotezei lui Jeans,
Condensarea materiei începu apoi:
Nori uriaşi de gaz întins,
Sau protogalaxii, după cum le spunem noi.
Nori uriaşi de gaz întins,
Sau protogalaxii, după cum le spunem noi.

Dar protogalaxiile sunt spulberate
În zborul lor prin noaptea deplină
Din ele se nasc stelele împrăştiate
Iar spaţiu-ntreg se umple de lumină.
Din ele se nasc stelele împrăştiate
Iar spaţiu-ntreg se umple de lumină.

Galaxii se tot învârt ca o sfârlează
Stele tot ard pân' ce-or să sece
Apoi universul încet se diluează
Lipsit de viaţă, 'ntunecos şi rece.
Apoi universul încet se diluează
Lipsit de viaţă, 'ntunecos şi rece.

Venise rândul lui Fred Hoyle. A apărut brusc de nicăieri în spaţiul dintre galaxiile strălucitoare. A scos o roată de artificii din buzunar şi a aprins-o. Cum a început să se rotească, a aruncat triumfător nou-născuta galaxie în sus şi s-a lansat în aria sa:

Majestically
mf
The un-i - verse by Hea-ven's de-cree, Was
ne - - - ver formed in time gone by, Was nev-er formed in
time gone by in time gone by. But is, has been, has been, shall ev-er
Refrain
ff
be For so say Bon - di, Gold and I Stay, O Cos-mos, O
Cos-mos, stay the same! We the stea - dy state pro - claim.

Nu, Universul, prin înalt decret ceresc,
N-a luat ființă-n timpul ce s-a dus,
Ci e, a fost, va fi pe veci, în chip firesc,
Căci Bondi, Gold și eu așa am spus.
Rămâi, o, Cosmos, rămâi cum te știm!
Noi Starea Staționară o instituim!

Bătrâne galaxii se dispersează,
Ard complet și ies din scenă.
Dar Universul tot s-echilibrează,
Și-și duce viața lui perenă.
Rămâi, o, Cosmos, rămâi cum te știm!
Noi Starea Staționară o instituim!

Noi galaxii condensează fără-ncetare
Firește, iarăși din nimic
(Lemaître și Gamow, s-avem iertare!)
Totul a fost și va fi veșnic.
Rămâi, o, Cosmos, rămâi cum te știm!
Noi Starea Staționară o instituim!

Dar, chiar în timp ce personajul care-l întruchipa pe Hoyle cânta, nu puteai să nu observi că, în ciuda imnului său înălțător închinat naturii neschimbătoare a cosmosului, cele mai multe din micuțele „galaxii" erau deja stinse.

Și astfel opera se îndrepta spre actul final, în care toate personajele se adunau pentru a cânta corul final apoteotic:

„Pe apa sâmbetei sunt duse"
Ryle atunci lui Hoyle îi spuse
„Toate studiile tale,
Fiindcă starea staționară
A ajuns acum hilară.
Nu face două parale.

Eu, cu telescopul meu,
Îţi aduc un anunţ rău:
Modelul tău a sucombat.
Ţi-o spun, iartă-mă, scurt pe doi:
Universul în care trăim noi
E pe zi ce trece mai diluat!"

Îi spuse Hoyle: „Văd că citezi
Din Gamow şi Lemaître, dar ia vezi
Cu cine ai de-a face, domnul meu!
O bandă fără de umor,
Ei, cu big bang-ul lor!
De ce-i încurajezi mereu?

Prietene, ascultă-mă atent,
N-are sfârşit, e evident,
Şi n-are, evident, nici început,
Bondi, Gold şi cu mine
Mereu aşa vom susţine
Până când părul ne va fi căzut!"

„Nici vorbă!" Ryle strigă
Cu voce tare aprigă
Încercând să i se-opună;
„Galaxiile de la mare distanţă
Sunt, aşa cum se vede cu siguranţă,
Mai strâns legate împreună!"

„M-ai distrus!"
Zise Hoyle sărind în sus
Şi revizuindu-şi modelul de zor.
„Materie nouă e-adusă la viaţă
În fiecare noapte şi-n fiecare dimineaţă.
Iar întreg tabloul e neschimbător!"

„Hoyle, las-o baltă-ţi spun!
Chiar azi am chef să te răpun!"
(Distracţia abia-ncepea)
„Uite, numai peste-o clipă"
Zise iarăşi Ryle în pripă
„Te aduc la vorba mea!"

La sfârşit s-au auzit aplauze furtunoase, tropăieli şi ovaţii care puteau rivaliza cu momentele culminante de la Covent Garden. În cele din urmă, cortina improvizată s-a blocat şi a rămas închisă, făcând imposibile alte chemări la rampă. Publicul s-a împrăştiat, cei tineri întorcându-se la bar.

— Ai ceva în program pentru mâine, Maud? întrebă domnul Tompkins pe când îşi luau rămas-bun.

— Nimic. Poţi să treci pe la mine, la o cafea, dacă vrei. La 11 e bine?

7 Găuri negre, moarte termică și flăcări

— Bănuiesc că aici trebuie să fie, își zise domnul Tompkins cercetând planul mâzgălit pe care i-l dăduse Maud. Nu era nici un nume pe poartă care să confirme că aceasta era într-adevăr Ferma Norton. La capătul aleii se vedea o casă uriașă și întortocheată. Nu era exact ce se aștepta să găsească, dar hotărî că e mai bine să se ducă și să întrebe. Chiar atunci o zări pe Maud. Stătea ghemuită și plivea un strat de flori. S-au salutat călduros.

— Ai ceva loc pe-aici, spuse el cu admirație. Nu credeam că pictura se plătește atât de bine. N-ar trebui să faci foamea într-o mansardă și să suferi pentru arta ta?

În primul moment l-a privit uimită, apoi a izbucnit în râs.

— Crezi că totul e al meu?! exclamă ea. Da' de unde! Casa a fost împărțită de când a plecat familia Norton. Acum e separată. Asta e partea mea — și arătă spre o aripă construită de curând. Intră și simte-te ca acasă.

În timp ce așteptau să fiarbă apa, au făcut un tur al locuinței ei, mică, dar mobilată șic. S-au așezat apoi pe canapeaua din sufragerie, cu cafeaua și biscuiții în față.

— Bun. Cum ți-a plăcut opera de ieri?

— M-am amuzat pe cinste, răspunse el. N-am înțeles toate aluziile, bineînțeles. Dar mi-a plăcut. Îți mulțumesc că m-ai invitat. Numai că...

— Numai că ce?

— Păi, când am ajuns acasă m-am tot întrebat ce s-a ales de teoria stării staționare. Părea o teorie *rezonabilă*.

— Să nu te audă tata că spui una ca asta, zise ea zâmbind. S-a lăsat cu greu convins să accepte reprezentarea operei. Nu vrea să-i zăpăcească pe studenţi. Face mult caz de faptul că ştiinţa se bazează pe *experiment*, şi *nu* pe estetică. Nu contează cât de mult îţi place o teorie, dacă rezultatele experimentale nu o confirmă, o arunci la gunoi.

— Şi dovezile împotriva ei sunt atât de puternice pe cât mi-ai dat ieri să înţeleg?

— Oh, da. Dovezile în favoarea big bang-ului sunt copleşitoare. În primul rând, ştim că universul s-a transformat în timp, putem *vedea* că s-a transformat.

Domnul Tompkins se încruntă:

— Vedea?

— Da. Adu-ţi aminte că viteza luminii e finită; trece un timp până când lumina de la un obiect îndepărtat ajunge la noi. Dacă priveşti departe în spaţiu, priveşti şi înapoi în timp. Lumina Soarelui, de pildă — spuse ea uitându-se pe fereastră — are nevoie de opt minute până să ajungă aici, deci noi vedem Soarele aşa cum arăta acum opt minute, nu cum arată acum. La fel se întâmplă şi cu obiectele mai îndepărtate, cum e galaxia din constelaţia Andromeda. Trebuie să fi văzut fotografii ale ei, se găsesc prin toate cărţile de astronomie. Galaxia se află la un milion de ani-lumină de noi, deci fotografiile ne-o arată aşa cum era acum un milion de ani.

— Şi unde vrei să ajungi?

— Martin Ryle a observat că numărul galaxiilor dintr-un volum dat creşte cu cât priveşti mai departe în spaţiu, cu alte cuvinte cu cât priveşti mai departe în urmă în timp. Şi exact la asta ne aşteptam dacă universul se rarefiază cu timpul; trebuie să fi fost mult mai dens în trecut.

— Au pomenit despre asta la sfârşitul operei, nu-i aşa? întrebă domnul Tompkins.

— Aşa e. Dar nu e numai asta. Ştim şi că natura însăşi a galaxiilor s-a schimbat de-a lungul timpului. A existat o fază, curând după ce s-au format în urma big bang-ului, pe când erau

mult mai strălucitoare decât sunt astăzi; cele care au acest comportament se numesc *quasari*. Quasarii pot fi văzuți doar la distanțe foarte mari, ceea ce înseamnă că au existat cu foarte mult timp în urmă, iar azi nu mai există. Nici asta nu se potrivește cu ideea unui univers neschimbător.

— Aha, încep să mă conving.

— Stai că n-am terminat, continuă ea. Gândește-te la abundența nucleară primordială.

— Cum ai spus?

— Raportul dintre diferitele tipuri de particule provenite de la big bang. Vezi tu, la foarte puțin timp după big bang totul era fierbinte; particulele se mișcau foarte repede și se ciocneau unele de altele. În acel stadiu nu existau decât particule subnucleare (neutroni și protoni), electroni și alte particule elementare. Nu existau nucleele atomilor grei; imediat ce se formau (prin fuziunea neutronilor și protonilor), se ciocneau puternic și se spărgeau din nou. Abia mai târziu, când universul s-a dilatat și s-a răcit, ciocnirile au devenit mai puțin violente; abia atunci nucleele nou-formate au putut supraviețui. În felul ăsta s-a ajuns la ceea ce se numește *nucleosinteza primordială*. Dar acest proces nu putea dura la infinit — nuclee absorbind din ce în ce mai mulți protoni și neutroni, alcătuind nuclee din ce în ce mai mari. Era o cursă contra cronometru. Temperatura continua să scadă, așa încât, în cele din urmă, particulele nucleare nu mai aveau suficientă energie ca să fuzioneze. În plus, și *densitatea* scădea — din cauza expansiunii —, astfel că ciocnirile erau din ce în ce mai rare. Prin urmare, toate acestea au făcut ca reacțiile nucleare să se oprească, iar amestecul de nuclee grele să rămână neschimbat. Acest amestec poartă numele de *amestec de îngheț*. El determină amestecul diferitelor tipuri de atomi care s-au format în cele din urmă. Acum vine partea cea mai interesantă: dacă cunoaștem densitatea universului din prezent, putem calcula valoarea ei în orice epocă anterioară, și în particular cea din momentul nucleosintezei primordiale. Putem deci calcula teoretic care trebuie să fi fost amestecul de

îngheţ. Rezultatele spun că ar trebui să ne aşteptăm ca 77% din masă să fie sub formă de hidrogen (cel mai uşor element), 23% sub formă de heliu (următorul ca greutate) şi din nucleele mai grele să fie doar urme slabe. Iar exact asta se observă azi când cercetezi abundenţele atomice ale gazului interstelar!

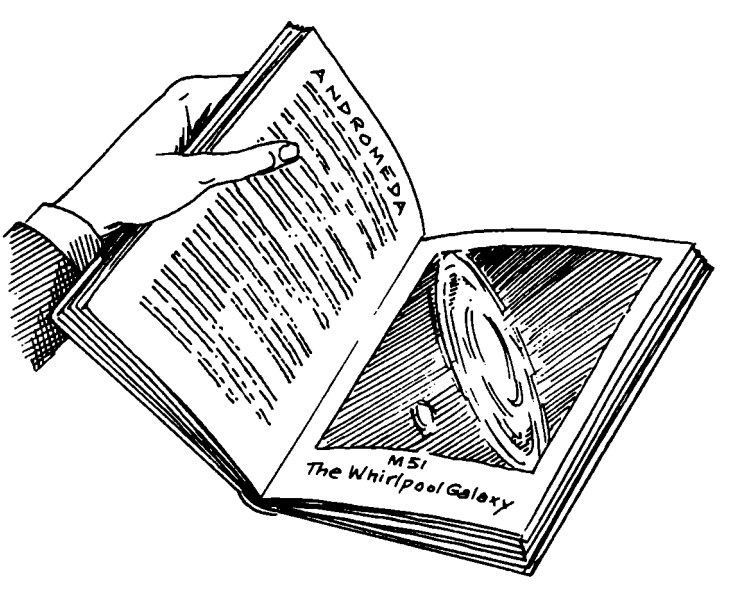
— Gata, ai învins! recunoscu domnul Tompkins. Big bang-ul a învins.

— Dar încă n-am vorbit despre dovada cea mai convingătoare, adăugă Maud, din ce în ce mai entuziastă.

— Ai început să vorbeşti ca tatăl tău.

Ignorând remarca, ea continuă:

— Radiaţia cosmică de fond. Vezi tu, dacă big bang-ul a fost fierbinte, el trebuie să fi fost însoţit de un fel de minge de foc, aşa cum explozia unei bombe nucleare produce o lumină orbitoare. Întrebarea care se pune este ce s-a întâmplat cu toată radiaţia provenită de la big bang. Trebuie să se afle undeva în univers, n-are unde să fie în altă parte. Sigur, nu mai e o



Se găsesc prin toate cărţile de astronomie

lumină orbitoare, trebuie să se fi răcit între timp. În stadiul actual, ar trebui să aibă o lungime de undă în domeniul microundelor. Gamow (a apărut ieri-seară, îți mai aduci aminte de el?) a calculat că ar trebui să aibă o lungime de undă corespunzând unei temperaturi de aproximativ 7 grade Kelvin, adică 7 grade deasupra lui zero absolut. Și a avut dreptate: rămășițele mingii de foc au fost găsite. Radiația a fost descoperită în 1965, pur întâmplător, de doi specialiști în comunicații, Penzias și Wilson. Are o temperatură de 2,73 K, apropiată de cea prevăzută de Gamow.

Domnul Tompkins nu mai spunea nimic; căzuse pe gânduri. Maud îl privea amuzată.

— Îți ajunge? Ești convins?

Domnul Tompkins se trezi din reverie.

— Da, sigur. E foarte frumos. Mulțumesc. Dar...

— Dar, ce?

— Am acum în minte imaginea hidrogenului, heliului, electronilor și radiației provenind de la big bang, dar nimic altceva. Cum a ajuns lumea să arate așa cum e azi? De unde au apărut Soarele și Pământul? Iar tu și cu mine, doar nu suntem făcuți numai din hidrogen și heliu?

— Tu mă întrebi despre 12 miliarde de ani de istorie! Cât timp îmi dai?

— Îți ajung trei minute? întrebă domnul Tompkins plin de speranțe.

Ea râse.

— O să încerc. Ești pregătit?

— Stai o clipă, spuse el uitându-se la ceas. Gata, dă-i drumul.

— Bun. La câteva minute după big bang existau nuclee de hidrogen și de heliu și electroni. 300 000 de ani mai târziu, temperatura a scăzut suficient pentru ca electronii să se poată ataşa de nuclee. Așa au apărut primii atomi. Spațiul a fost deci umplut cu gaz. Densitatea gazului era destul de uniformă, dar existau câteva mici neomogenități, locuri în care densitatea

era fie ceva mai mare, fie ceva mai mică decât media. Gazul a început atunci să se înghesuie în jurul zonelor mai dense, din cauza gravitaţiei lor mai mari. Cu cât se aduna mai mult gaz, cu atât creştea gravitaţia şi cu atât atrăgea mai mult gaz din împrejurimi. Asta a dus la formarea unor nori de gaz separaţi unii de alţii. Apoi, în interiorul fiecărui nor s-au format mici vârtejuri. Ele se comprimau şi se încălzeau. (Aşa se întâmplă mereu când comprimi un gaz într-un volum mic: se încălzeşte.) În cele din urmă, temperatura a devenit atât de ridicată încât a declanşat procesele de fuziune nucleară, iar astfel s-au născut stelele. Deci, după aproape un miliard de ani s-au format galaxiile şi stelele. (De fapt, se prea poate ca lucrurile să se fi petrecut şi invers. În loc să se formeze întâi norii galactici şi apoi stelele, e posibil ca stelele să se fi format întâi, iar mai târziu să se adune pentru a forma galaxiile. Deocamdată nimeni nu ştie cu certitudine.) Într-un fel sau altul, au apărut stelele. Procesele de fuziune nucleară le-au furnizat energie. Stelele nu numai că eliberează energie, dar produc şi nucleele atomilor mai grei — atomii de care a fost mai târziu nevoie pentru a alcătui Pământul şi materia corpurilor noastre. În cele din urmă, combustibilul nuclear al unei stele se sfârşeşte. O stea de dimensiuni medii, cum e Soarele, ajunge în faza asta după 10 miliarde de ani. La bătrâneţe, se umflă şi devine ceea ce se numeşte o stea *gigantică roşie*. Apoi se contractă devenind o *pitică albă*, apoi încet-încet se stinge pentru a deveni o cenuşă rece. Stelele mai mari îşi sfârşesc viaţa mai spectaculos. Explodează. *Explozia unei supernove*. Această explozie aruncă în spaţiu unele dintre nucleele nou sintetizate — nucleele grele. Ele se amestecă în gazul interstelar şi se pot aduna pentru a forma o a doua generaţie de stele, precum şi, pentru prima dată, planete stâncoase cum e Pământul (care bineînţeles n-au apărut odată cu prima generaţie de stele). Apoi evoluţia şi selecţia naturală preiau comanda, transformând substanţele chimice de pe suprafaţa planetelor în fiinţe ca mine şi ca tine. Şi uite aşa am ajuns noi să fim alcătuiţi din pulbere de stele!

Maud se opri brusc.

— Gata! Asta e! Cât timp mi-a luat?

— Vreo două minute, zise domnul Tompkins zâmbind.

— Bine. Asta înseamnă că mai am un minut ca să vorbesc despre *găurile negre.*

— Găuri negre?

— Exact. Asta rămâne după explozia stelelor cu adevărat masive. Ceva din materia lor e aruncat în spațiu, cum ți-am spus, dar restul se prăbușește spre interior și formează o gaură neagră.

— Ce e, de fapt, o gaură neagră? întrebă domnul Tompkins. Sigur, am auzit de ele, dar...

— O gaură neagră apare atunci când forța gravitațională e atât de puternică încât nimic nu-i poate rezista. Toată materia stelei se adună într-un punct.

— Un *punct*? exclamă domnul Tompkins. Cum adică? Chiar un *punct*?

— Exact. Nu are volum. Punctul în care e concentrată toată materia este înconjurat de o regiune cu un câmp gravitațional incredibil de puternic. Atât de puternic, încât, dacă te apropii la o anumită distanță de ea (dacă treci de *orizontul evenimentelor*), nimic nu mai poate scăpa, nici măcar lumina. De aceea i se spune neagră. Orice se găsește înăuntrul orizontului evenimentelor e absorbit în punctul din centru.

— Uluitor! murmură domnul Tompkins. Și ce se află dincolo de gaura neagră?

— Dincolo? Cine știe! Nu trebuie să fie ceva „dincolo". Materia care a căzut în interior rămâne în centru. Sigur, s-au făcut o mulțime de speculații legate de faptul că ar putea călători printr-un fel de tunel care unește universul nostru cu alt univers. Atunci ar ține în celălalt univers sub forma unei „găuri albe". Dar toate astea sunt pure speculații.

— De unde știm cu certitudine că găurile negre există într-adevăr?

— Ah, dovezile sunt destul de solide. Nu e vorba numai de găuri negre provenind de la stele bătrâne care au colapsat,

dar şi în centrul galaxiei există găuri negre foarte masive, care trebuie să fi înghiţit milioane de stele.

Domnul Tompkins rămase cu ochii pironiţi asupra lui Maud, plin de admiraţie.

— De ce te uiţi aşa la mine? întrebă ea curioasă.

— Pur şi simplu mă minunez cum ai ajuns să ştii toate astea!

Ea ridică modestă din umeri.

— Probabil că cea mai mare parte le-am aflat de aici — şi arătă spre un raft plin cu reviste de popularizare a ştiinţei.

— O ultimă întrebare, dragă Einstein. Cum se vor sfârşi toate astea? Ce se va întâmpla cu universul în viitor? Parcă tatăl tău spunea că se va extinde pe veci, dar va încetini pentru a se opri într-un viitor infinit.

— Aşa e, dacă teoria inflaţionară este corectă, iar densitatea materiei din univers are valoarea critică. Până atunci tot combustibilul nuclear se va fi epuizat, toate stelele vor fi murit, multe vor fi fost înghiţite de găurile negre din centrul galaxiilor lor, universul va fi îngheţat şi lipsit de viaţă. *Moartea termică a Universului* — aşa se numeşte.

Pe domnul Tompkins îl trecu un fior.

— Nu prea îmi place ce-mi spui.

— Îmi pare rău. Dar n-ar trebui să fii îngrijorat din cauza asta — răspunse ea înţeleaptă. Până atunci, o să fim cu toţii demult morţi şi îngropaţi. Gata, ajunge cu universul. Hai să schimbăm subiectul.

— Ah, iartă-mă. Ce părere oi fi având tu despre mine?

— Nu-ţi face probleme. Profită cât poţi, chicoti ea. Săptămâna viitoare n-am să te mai pot ajuta.

— Săptămâna viitoare? Ce se întâmplă săptămâna viitoare?

— Tata ajunge la teoria cuantică în lecţia viitoare, nu-i aşa?

— Cred că da.

— Ei bine, niciodată n-am reuşit să pricep teoria cuantică. Tot ce pot să-ţi spun e: multă baftă! Acum e momentul să trec la arta mea. Chiar vrei să-mi vezi lucrările?

— Lucrările tale? Cum să nu! Unde le ţii? Atelierul tău e departe?

— Departe? Nici vorbă. Nu trebuie decât să traversezi curtea. Mi s-a pus la dispoziție un hambar vechi. De aceea am ales Norton Farm. Nu casa, ci hambarul mi-l doream.

Atelierul lui Maud era o țară a minunilor. Domnul Tompkins nu mai văzuse așa ceva. Creațiile ei (nu le puteai numi picturi) erau extraordinare. Deși erau înrămate și urmau să fie atârnate pe pereți, erau făcute din tot felul de materiale: gips, lemn, tuburi de metal, plăcuțe, pietricele, cutii de conserve etc. Diferitele obiecte erau adunate în colaje elaborate, pline de personalitate.

— Sunt minunate, exclamă el. Nu mi-ar fi trecut prin cap. Minunat! Închipuiește-ți, continuă ezitant, nu pot spune că le *înțeleg* — nu le înțeleg cu adevărat. Dar *îmi plac*, adăugă el cu hotărâre.

Maud zâmbi.

— Păi, nu sunt teorii din fizică. Nu trebuie să fie *înțelese*. Trebuie să le *simți*.

Domnul Tompkins contemplă tăcut una dintre lucrări. Apoi își luă inima în dinți:

— Trebuie să ajungi să intri în relație cu ea, să interacționezi. Și privitorul trebuie să aducă ceva cu sine, s-o privească în raport cu o experiență proprie. Asta ai vrut să spui?

Maud ridică evaziv din umeri.

— Asta este ultima, spuse ea arătând spre cea pe care el o privea. Ce vezi în ea?

— Asta? O plajă. Lucruri spălate de mare. Noduroase și uzate; fiecare cu istoria lui; o istorie de povestit; aduse acum de întâmplare laolaltă, în același loc și în același timp.

Ea îl privi cu atenție. Era o privire pe care nu i-o cunoștea și imediat se simți ridicol.

— Îmi cer scuze. Spun prostii. Probabil că am citit prea multe cataloage de expoziții. Unul din avantajele faptului că lucrez în centru este și acela că în pauza de prânz am ocazia să vizitez galerii de artă și expoziții, explică el. Îmi place arta — în orice caz anumite lucruri. Încerc să mă țin la curent cu ce se întâmplă.

Ea zâmbi.

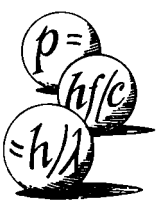
— Spune-mi, continuă el, cum obţii efectul ăsta de patină? Arată de parcă ar fi scăpat dintr-un incendiu.

Avea în faţă nişte bucăţi de lemn ars prinse în gips. Maud îi aruncă o privire ştrengărească.

— Dacă vrei, îţi arăt, dar fii cu băgare de seamă.

Acestea fiind zise, luă un chibrit şi aprinse o lampă de sudură care se găsea pe o masă din apropiere. Plimbă flacăra deasupra uneia din lucrări, iar nu după mult timp bucăţile de lemn s-au aprins. Atelierul s-a umplut imediat de fum. Uşor speriat, domnul Tompkins se retrase câţiva paşi, dădu peste uşă şi o deschise ca să iasă fumul. Privea fascinat. Se uita la chipul lui Maud. Era imaginea concentrării totale. În momentul acela îşi dădu seama că e îndrăgostit.

8 Biliard cuantic



Pentru lecţia următoare a profesorului, publicul nu mai era la fel de numeros ca la început; era clar că unii cedaseră. Rămăseseră totuşi destui. În timp ce aştepta să înceapă lecţia, domnul Tompkins îşi aminti remarca lui Maud despre dificultăţile de a înţelege teoria cuantică; se întreba îngrijorat cum se va descurca. Era însă hotărât să facă tot ce îi stătea în puteri ca să priceapă. Ba chiar spera ca, în privinţa fizicii cuantice, de data asta *el* s-o înveţe pe *ea*!

Profesorul intră...

Doamnelor şi domnilor,

În cele două lecţii precedente am încercat să vă arăt felul în care descoperirea limitei superioare pentru toate vitezele din fizică ne-a obligat la o reconsiderare totală a ideilor din secolul al XIX-lea despre spaţiu şi timp.

Dezvoltarea analizei critice a fundamentelor fizicii nu s-a oprit însă la acest stadiu; mai avem încă multe descoperiri şi concluzii şocante. Mă refer la o ramură a fizicii numită *teoria cuantică*. Aceasta nu mai are atât de mult de-a face cu proprietăţile spaţiului şi timpului, cât cu interacţiunile reciproce şi cu mişcarea obiectelor materiale ce au loc în spaţiu şi timp.

În fizica clasică este întotdeauna de la sine înţeles faptul că interacţia dintre oricare două corpuri fizice poate fi atât de mică pe cât o cer condiţiile experimentului şi se poate reduce practic la zero, dacă e necesar. De exemplu, să presupunem că dorim să aflăm care e căldura eliberată într-un anume pro-

ces şi ne punem problema că introducerea unui termometru va absorbi o anumită cantitate de căldură, producând deci o perturbare. Experimentatorul avea încredere că, prin folosirea unui termometru foarte mic (sau a unui termocuplu minuscul), această perturbare putea fi coborâtă sub limitele preciziei necesare.

Convingerea că orice proces fizic poate fi observat, în principiu, cu orice grad de precizie, fără a-l perturba prin observaţie era atât de puternică, încât nimeni nu s-a obosit să formuleze explicit o asemenea afirmaţie. Totuşi, noi date experimentale acumulate de la începutul secolului XX i-au condus treptat pe fizicieni la concluzia că situaţia e în realitate mult mai complicată. De fapt, *în natură există o limită inferioară sub care interacţia nu poate fi niciodată redusă*. Această limită naturală a preciziei este neglijabil de mică pentru cea mai mare parte dintre procesele cu care suntem obişnuiţi în viaţa de zi cu zi. Devine însă foarte importantă atunci când interacţiunile au loc în sisteme mecanice de dimensiuni extrem de mici, cum sunt atomii şi moleculele.

În 1900, fizicianul german Max Planck era preocupat de condiţiile de echilibru dintre radiaţie şi materie. A ajuns la o concluzie surprinzătoare: dacă interacţia dintre radiaţie şi materie are loc continuu, aşa cum se presupusese dintotdeauna, nu e posibil un asemenea echilibru. El a propus ca transferul de energie între materie şi radiaţie să aibă loc *într-un şir de „şocuri" separate*. O anumită cantitate de energie este transferată în fiecare din aceste acte elementare de interacţie. Pentru atingerea echilibrului dorit şi pentru a obţine concordanţa cu datele experimentale, a fost necesar să se introducă o relaţie matematică simplă care stabileşte că energia transferată la fiecare şoc este proporţională cu frecvenţa radiaţiei responsabile pentru transferul de energie.

Astfel, notând coeficientul de proporţionalitate prin simbolul „*h*", Planck a ajuns la concluzia că porţia minimă, sau *cuanta* de energie, transferată este dată de expresia

$$E = hf \qquad (13)$$

unde f este frecvenţa radiaţiei. Constanta h are valoarea numerică de $6{,}6 \times 10^{-34}$ jouli secundă şi poartă numele de constanta lui Planck. (Sper că sunteţi familiarizaţi cu faptul că 10^{-34} înseamnă:

1/10 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000

unde există 34 de zerouri la numitor.) Remarcaţi valoarea extrem de mică a constantei lui Planck, ceea ce face ca fenomenele cuantice să nu fie de regulă observate în viaţa de zi cu zi.

O dezvoltare ulterioară a ideilor lui Planck s-a datorat lui Einstein. El a ajuns la concluzia că nu numai radiaţia este emisă în „pachete de energie", dar aceste pachete transferă după aceea energie către materie în acelaşi fel localizat ca şi particulele. Cu alte cuvinte, fiecare pachet rămâne intact — nu-şi dispersează energia într-o regiune întinsă, aşa cum s-ar fi presupus. Aceste „pachete" de energie se numesc „cuante de lumină" sau *fotoni*.

Din moment ce fotonii se mişcă, ei trebuie să aibă, în afara energiei lor hf, şi un anume impuls. Conform mecanicii relativiste, acesta trebuie să fie egal cu energia lor împărţită la viteza luminii, c. Dacă ne aducem aminte că frecvenţa luminii este legată de lungimea ei de undă λ prin relaţia $f = c/\lambda$, putem scrie pentru impulsul fotonului relaţia:

$$p = pf/c = h/\lambda \qquad (14)$$

Prin urmare, impulsul fotonului scade cu lungimea de undă.

Una dintre cele mai bune dovezi experimentale privind corectitudinea ideii de cuante de lumină, precum şi a energiei şi impulsului asociate lor, a fost dată de cercetările fizicianului american Arthur Compton. Studiind interacţiile dintre lumină şi electroni, el a ajuns la concluzia că electronii puşi în mişcare de acţiunea unei raze de lumină se comportă exact la fel ca în cazul în care sunt ciocniţi de o particulă cu energia şi impulsul date de ecuaţiile (13) şi (14). Fotonii înşişi, după ce se ciocnesc cu electronii, suferă anumite modificări (în frecvenţă), în excelent acord cu predicţiile teoriei.

Astfel, putem spune că, în ceea ce priveşte interacţia cu materia, proprietăţile cuantice ale radiaţiei electromagnetice precum lumina sunt dovedite experimental.

O dezvoltare ulterioară a ideilor cuantice se datorează fizicianului danez Niels Bohr. În 1913 el a fost primul care a exprimat ideea că *mişcarea internă a oricărui sistem mecanic trebuie să posede numai un set discret de valori posibile ale energiei.* Drept rezultat, mişcarea internă poate să-şi schimbe starea doar în paşi finiţi, tranziţia fiind însoţită de emisia sau absorbţia unei cantităţi finite, discrete, de energie (diferenţa de energie dintre două stări energetice permise). Ideea a fost sugerată de observaţia că, atunci când electronii atomilor emit radiaţie, spectrul rezultant nu este continuu, ci constă doar din anumite frecvenţe — „linii spectrale". Cu alte cuvinte, conform ecuaţiei (13), energia radiaţiei emise ia numai anumite valori. Acest fapt poate fi înţeles dacă ipoteza lui Bohr privind stările energetice permise emiţătorului este corectă — în cazul acesta stările energetice ale electronilor în atom.

Regulile matematice care definesc stările posibile ale sistemelor mecanice sunt mai complicate decât în cazul radiaţiei şi nu vom intra în detalii. Este suficient să spunem că, atunci când descriem mişcarea unei particule precum electronul, există împrejurări în care devine necesar să-i atribui proprietăţile unei *unde*. Această necesitate a fost indicată pentru prima dată de fizicianul francez Louis de Broglie, pe baza studiilor teoretice asupra structurii atomului. El a afirmat că atunci când o undă se află limitată într-un spaţiu, cum e unda sunetului din tubul unei orgi sau vibraţia corzii unei viori, sunt permise numai anumite frecvenţe sau lungimi de undă. Aceste unde „se potrivesc" cu dimensiunile spaţiului care le limitează, dând naştere la ceea ce numim „unde staţionare". De Broglie a susţinut că, dacă electronilor din atom li se asociază o undă, atunci din cauza faptului că unda este limitată (la vecinătatea nucleului atomic) lungimea ei de undă va putea lua numai valorile discrete permise undelor staţionare. Mai mult, dacă lungimea de

undă propusă ar fi legată de impulsul electronului printr-o relaţie similară cu ecuaţia (14) pentru lumină, adică

$$p_{\text{particulă}} = h/\lambda \qquad (15)$$

atunci impulsul (şi deci energia) electronului ar putea lua numai anumite valori permise. Acestea ar da o explicaţie simplă pentru nivelele discrete ale energiei electronilor în atomi şi, în consecinţă, pentru natura liniilor spectrale ale radiaţiei emise de ei.

În anii ce au urmat, proprietăţile ondulatorii ale mişcării particulelor materiale au fost stabilite ferm prin numeroase experimente. Ele au pus în evidenţă fenomene ca *difracţia* fasciculelor de electroni ce trec printr-o fantă îngustă şi *fenomenele de interferenţă* ce au loc chiar şi pentru particule relativ mari şi complexe, precum moleculele. Proprietăţile ondulatorii ale particulelor materiale erau absolut de neînţeles din perspectiva concepţiilor clasice asupra mişcării. De Broglie însuşi a fost obligat să adopte o perspectivă oarecum nenaturală: particulele sunt „însoţite" de anumite unde care, aşa-zicând, le „ghidează" mişcarea.

Datorită valorii extrem de mici a constantei *h,* lungimea de undă a particulelor materiale este extrem de mică — chiar şi pentru unele dintre cele mai uşoare particule elementare, cum ar fi electronul. Ori de câte ori lungimea de undă a radiaţiei este mică în comparaţie cu dimensiunea fantelor prin care ar putea să treacă, efectele de difracţie sunt mici, iar radiaţia trece nedeviată. Acesta e motivul pentru care o minge de fotbal trece printre buturile porţii fără vreo schimbare vizibilă a direcţiei provocată de difracţie. Natura ondulatorie a particulelor devine importantă doar dacă mişcarea are loc în regiuni foarte mici, precum interiorul unui atom sau al unei molecule. Acolo va juca un rol esenţial pentru cunoaşterea structurii interne a materiei.

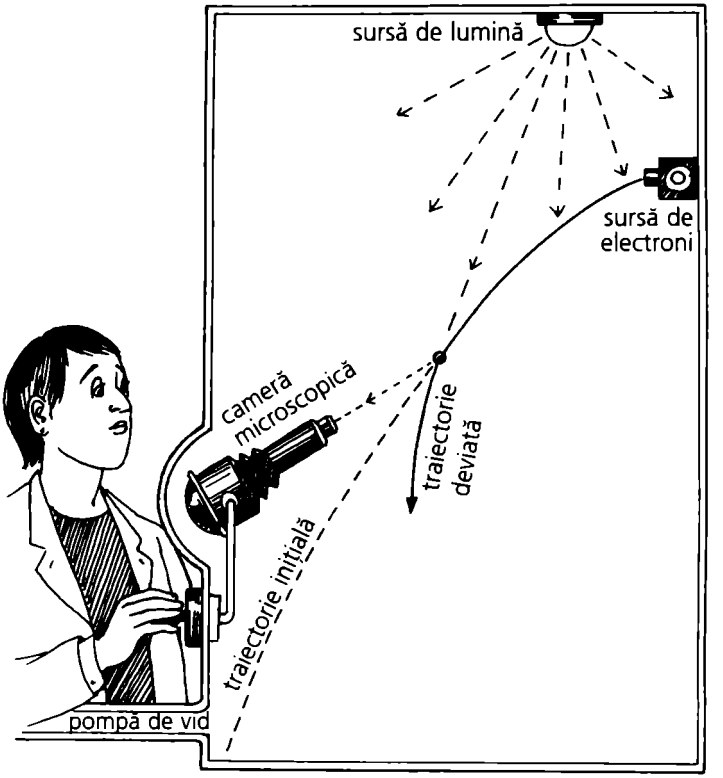
Una dintre cele mai directe demonstraţii privind natura discretă a acestor sisteme mecanice foarte mici a fost dată de ex-

perimentele lui James Franck şi Gustav Herz. Ei au bombardat atomi cu electroni de diverse energii şi au constatat că au loc modificări evidente ale stării atomilor doar atunci când energia electronilor-proiectil are anumite valori discrete. Dacă energia electronilor se afla sub o anume limită, nu se putea observa nici un efect asupra atomilor. Cantitateă de energie transportată de fiecare electron nu era suficientă pentru ca atomul să treacă din prima stare cuantică permisă în cea de-a doua.

Care este deci raportul dintre aceste idei noi şi mecanica clasică?

Conform concepţiei fundamentale despre mişcare în teoria clasică, la un moment dat o particulă ocupă o anumită poziţie în spaţiu şi are o anumită viteză ce îi caracterizează schimbările de poziţie de-a lungul traiectoriei sale. Noţiunile fundamentale de poziţie, viteză şi traiectorie, pe care este clădit întregul edificiu al mecanicii clasice, s-au format (ca toate celelalte noţiuni pe care le avem) prin observarea fenomenelor din jurul nostru. Aşa cum am văzut că s-a întâmplat cu noţiunile clasice de spaţiu şi timp, ne putem aştepta să fie nevoie de modificări radicale atunci când experienţele noastre se extind în regiuni noi, încă neexplorate.

Dacă vă întreb de ce credeţi că o particulă în mişcare ocupă la un moment dat o anumită poziţie, iar cu trecerea timpului descrie o linie bine definită numită traiectorie, probabil veţi răspunde: „Fiindcă asta am văzut când am privit mişcarea." Dar haideţi să analizăm această metodă de formare a noţiunii clasice de traiectorie şi să vedem dacă ne duce cu adevărat la un rezultat precis. În acest scop, să ne imaginăm un fizician având la dispoziţie aparate de măsură sensibile, încercând să urmărească mişcarea unui corp material minuscul aruncat de pe peretele laboratorului. El se hotărăşte să facă observaţiile „văzând" cum se mişcă corpul. Firește, pentru a-l vedea, trebuie să-l lumineze. Ştiind că lumina produce în general o presiune asupra unui corp, iar astfel îi perturbă mişcarea, el se hotărăşte să folosească mici impulsuri luminoase numai în momentele când



Lumina poate perturba mișcarea

face observațiile. Pentru prima încercare vrea să observe doar zece puncte de-a lungul traiectoriei și prin urmare alege o sursă de lumină atât de slabă încât efectul total al presiunii luminii în decursul celor zece iluminări succesive să fie sub pragul de eroare acceptat. Astfel, producând zece pulsuri luminoase în timpul căderii micului corp, obține zece puncte de pe traiectorie, cu precizia dorită.

Acum dorește să-și îmbunătățească experimentul și să obțină traiectoria cu o precizie mai mare — o sută de puncte de data aceasta. Știe că o sută de iluminări succesive vor perturba

mişcarea prea tare şi astfel, pregătind al doilea set de observaţii, alege ca impulsurile luminoase să fie de zece ori mai puţin intense. Pentru cel de-al treilea set de observaţii, dorind să aibă o mie de puncte, intensitatea impulsurilor luminoase e de o sută de ori mai mică decât iniţial. Procedând în acest fel, şi scăzând constant intensitatea iluminării, va putea obţine câte puncte de pe traiectorie va dori, fără să crească erorile posibile peste limita pe care şi-a fixat-o de la început. Un astfel de procedeu, puternic idealizat, dar posibil în principiu, reprezintă o metodă strict logică de construcţie a mişcării pe o traiectorie „privind la obiectul care se mişcă". Prin urmare, din punctul de vedere al fizicii clasice este perfect posibil.

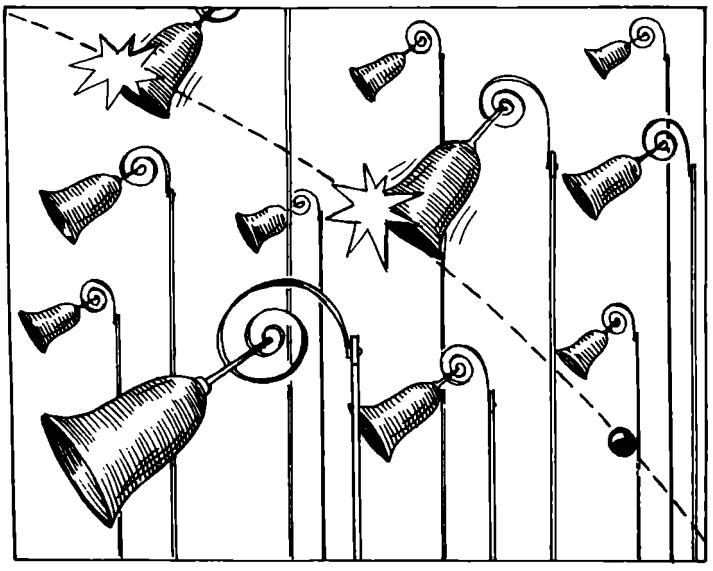
Ce se va întâmpla însă dacă vom introduce limitările cuantice şi vom ţine seama de faptul că acţiunea oricărei radiaţii poate fi transferată doar sub formă de fotoni. Am văzut că observatorul nostru a redus treptat şi constant iluminarea corpului în mişcare. Trebuie să recunoaştem însă că nu va putea continua din momentul în care ajunge la nivelul de iluminare de un foton pe impuls luminos. Corpul în mişcare va reflecta fie un foton, fie nu va reflecta nici unul; nu putem avea fracţiuni de foton.

Acum experimentatorul ar putea spune că, în conformitate cu ecuaţia (14), efectul ciocnirii cu un foton ar fi mai mic dacă lungimea de undă ar fi mai mare. În consecinţă, ar face să crească numărul de observaţii mărind în compensaţie lungimea de undă a luminii folosite. Aici însă se va confrunta cu o altă dificultate. E bine cunoscut faptul că atunci când foloseşti lumină cu o anumită lungime de undă, nu poţi vedea detalii mai mici decât lungimea de undă. (Nu poţi picta o miniatură persană folosind o bidinea!) Astfel, folosind lungimi de undă din ce în ce mai mari, estimarea fiecărui punct va deveni imposibilă, iar curând se va ajunge în situaţia în care incertitudinea fiecărei estimări va fi comparabilă cu dimensiunile laboratorului, ba chiar mai mare. Astfel va fi în cele din urmă obligat la un compromis între numărul mare de puncte observate şi incertitudinea

fiecărei estimări. Nu va fi niciodată posibil să se ajungă la o traiectorie exactă ca o linie matematică, aşa cum se obţine în fizica clasică. Cel mai bun rezultat va fi o bandă destul de largă şi difuză.

Metoda prezentată aici e o metodă optică; am putea încerca o altă cale, folosind o metodă mecanică. În acest scop experimentatorul nostru poate născoci un instrument de înregistrare minuscul, de pildă mici clopoţei pe arcuri care să semnaleze trecerea unui corp material prin apropiere. Pot fi împrăştiaţi mulţi clopoţei în spaţiul în care se aşteaptă să treacă acel corp în mişcare şi după fiecare trecere a particulei sunetul clopoţeilor va indica urma sa. În fizica clasică putem face clopoţeii cât de mici şi de sensibili dorim, iar în cazul limită al unui număr infinit de clopoţei infinit de mici, noţiunea de traiectorie poate fi din nou formată cu o precizie oricât de bună. Numai că limitările cuantice pentru sistemele mecanice vor încurca iar situaţia. Limbile clopoţeilor se află în acelaşi spaţiu ca şi clopoţeii înşişi. Vor putea avea deci numai anumite stări energetice discrete. Dacă clopoţeii sunt prea mici, cantitatea de impuls pe care o primesc de la corpul în mişcare pentru a face limba să sune va fi mare, iar ca rezultat mişcarea particulei va suferi o perturbare corespunzătoare. Pe de altă parte, dacă clopoţeii sunt mari, perturbaţiile vor fi mai mici, dar incertitudinea asupra fiecărei poziţii va fi mare. Traiectoria dedusă în final va fi din nou o bandă neclară!

Aceste consideraţii pot să vă invite să căutaţi alte metode practice de determinare a traiectoriei — poate mai elaborate şi mai complicate. Daţi-mi însă voie să precizez că ceea ce am prezentat aici nu este analiza a două tehnici experimentale particulare, ci o idealizare a celei mai *generale* probleme a măsurătorilor în fizică. Orice schemă de măsurătoare este în mod necesar reductibilă la elementele prezentate în cele două metode şi va duce la acelaşi rezultat: cunoaşterea exactă a poziţiei şi a traiectoriei nu este posibilă în lumea guvernată de legile cuantice...

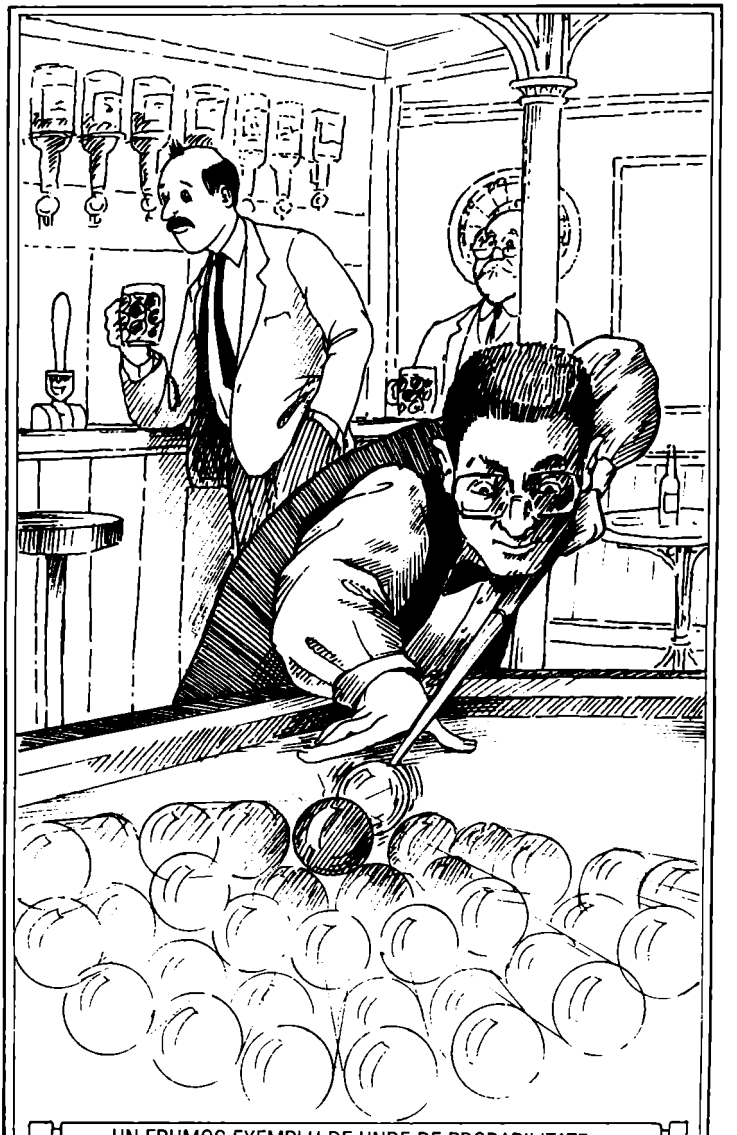


Clopoţei pe arcuri

În acest punct al lecţiei, domnul Tompkins dădea o mare bătălie în încercarea de a-şi ţine ochii deschişi. Capul îi căzu, apoi tresări şi se strădui să rămână treaz; îi căzu din nou, altă tresărire, altă cădere...

După ce şi-a comandat o halbă de bere la bar, domnul Tompkins a început să caute un scaun, când atenţia i-a fost atrasă de zgomotul bilelor de biliard. Şi-a amintit că exista o masă de biliard în camera din spate a barului, aşa că s-a dus să vadă ce-i pe acolo. Camera era plină de bărbaţi îmbrăcaţi în cămaşă şi vestă, bând şi vorbind de zor, aşteptând să le vină rândul la joc. Domnul Tompkins s-a apropiat de masă şi a început să privească jocul.

Se întâmpla ceva foarte ciudat aici! Un jucător a pus o bilă pe masă şi a lovit-o cu tacul. Urmărind bila, domnul Tompkins a observat cu surprindere că bila începe să „se împrăştie". Asta era singura expresie pe care a putut-o găsi pentru comportamentul straniu al bilei care, pe măsură ce se mişca, părea din



UN FRUMOS EXEMPLU DE UNDE DE PROBABILITATE

ce în ce mai neclară, pierzându-şi conturul precis. Era ca şi cum pe masă nu se rostogolea o bilă, ci un mare număr de bile, toate întrepătrunzându-se parţial. Domnului Tompkins i se mai întâmplase de multe ori să observe fenomene asemănătoare, dar niciodată după ce băuse doar un singur pahar. Nu putea înţelege ce se petrece.

— Hmm, mă întreb dacă bila asta „neclară" o să mai lovească o alta.

Jucătorul care lovise bila era evident un expert; bila a lovit-o exact pe cea care trebuia; s-a auzit un zgomot puternic, ca la impactul între două bile obişnuite. Apoi atât bila care se mişcase cât şi cea care fusese în repaus (domnul Tompkins nu putea spune cu precizie care era una şi care era cealaltă) au pornit în mare viteză „în toate direcţiile în acelaşi timp". Foarte straniu. Nu mai erau două bile cu contururi oarecum neclare, ci nenumărate bile, toate foarte vag conturate şi difuze, care se deplasau împrăştiate sub un unghi de aproximativ 180° în direcţia iniţială de impact. Părea o undă ce se împrăştia de la punctul de ciocnire, cu un flux maxim de bile în direcţia impactului iniţial.

— Iată un frumos exemplu de unde de probabilitate, rosti în spatele său o voce cunoscută.

Domnul Tompkins s-a întors, iar profesorul era chiar lângă el.

— Ah, dumneavoastră eraţi. Mă bucur. Poate că-mi explicaţi şi mie ce se întâmplă aici.

— Bineînţeles. Proprietarul pare să aibă aici nişte bile care suferă de „elefantiazis-cuantic", dacă pot să mă exprim astfel. Toate obiectele din natură sunt supuse legilor cuantice. Dar constanta lui Planck (cantitatea dominantă la scara efectelor cuantice) este foarte, foarte mică — cel puţin aşa e în mod normal. Pentru bilele de aici, constanta pare să fie mult mai mare — aproximativ UNU, presupun. Ceea ce ne convine de minune; în felul ăsta poţi vedea cu ochii tăi tot ce se întâmplă. În mod normal nu poţi decât să deduci acest tip de comportament folosind metode de observare foarte fine şi sofisticate.

Profesorul căzu pe gânduri.

— Tare-aş vrea să aflu de unde a făcut rost proprietarul de bilele acestea. Riguros vorbind, ele nu pot exista în lumea noastră. Constanta lui Planck este aceeaşi pentru toate obiectele.

— Poate că le-a importat dintr-o altă lume, sugeră domnul Tompkins. Dar, spuneţi-mi, de ce se împrăştie bilele în felul ăsta?

— Oh, totul se leagă de faptul că poziţia lor pe masă nu e prea precisă. Nu poţi spune care e poziţia exactă a unei bile, nu poţi spune decât că bila se află „în principal aici", dar „parţial şi în altă parte".

— Adică, *fizic* se află în toate aceste locuri diferite deodată? întrebă domnul Tompkins nedumerit.

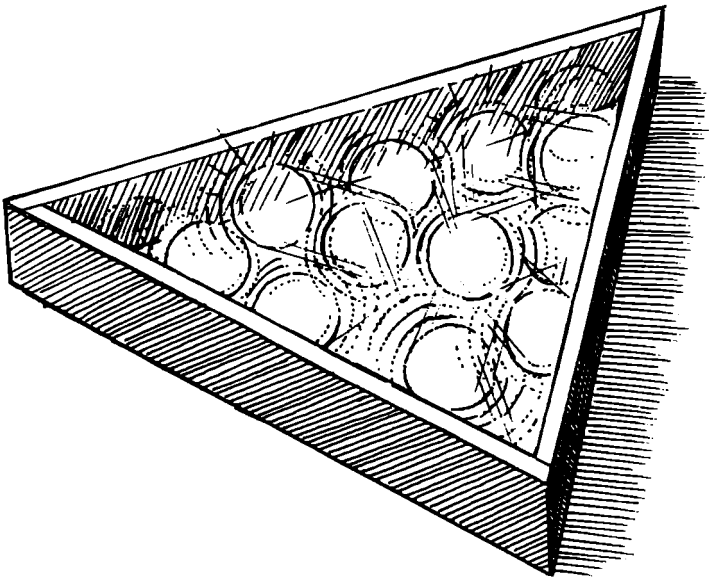
Profesorul ezita.

— Poate că da, poate că nu. Sigur, unii oameni aşa ar spune. Alţii ar spune însă că doar *cunoaşterea* noastră privind poziţia bilelor este incertă. Interpretarea fizicii cuantice a fost întotdeauna un subiect controversat. Nici măcar acum nu s-a ajuns la consens.

Domnul Tompkins se uita în continuare uimit la bilele de biliard difuze.

— Tare neobişnuit!

— Dimpotrivă, insistă profesorul, e cât se poate de obişnuit... Vreau să spun că asta se întâmplă tot timpul cu toate obiectele materiale din Univers. Doar că h este foarte mic. Metodele noastre curente de observaţie sunt prea grosolane; ele ascund acest tip profund de nedeterminare. Iar din cauza asta oamenii îşi închipuie în mod greşit că poziţia şi viteza sunt în sine mărimi bine definite. Ei recunosc faptul că, în termeni pur practici, nu putem niciodată *determina* exact valorile poziţiei şi vitezei — n-o putem face cu precizie *infinită* —, dar pun totul pe seama stângăciei tehnicilor de măsurare. Adevărul este însă că cele două cantităţi sunt *în mod fundamental* nedefinite într-o anumită măsură. De fapt, e posibil să modificăm echilibrul între incertitudini. De pildă, ai putea dori să te concentrezi asupra creşterii preciziei în determinarea poziţiei. Foarte bine, poţi s-o faci, dar cu preţul sporirii nedeterminării vite-



Bilă obligată să se afle în interiorul unui triunghi

zei. Sau invers, poţi creşte precizia pentru viteză, dar trebuie să sacrifici precizia în privinţa poziţiei. Constanta lui Planck guvernează relaţia dintre aceste două nedeterminări.

— Nu sunt chiar sigur că... începu domnul Tompkins.

— De fapt e simplu, continuă profesorul. Priviţi, am să impun limite ferme poziţiei acestei bile.

Bila difuză despre care vorbea se rostogolea leneş pe masă. Profesorul s-a întins şi a prins-o în interiorul triunghiului de lemn pe care îl folosesc jucătorii pentru aşezarea bilelor la începutul jocului. Bila a început imediat să se mişte bezmetic. Întreg interiorul triunghiului s-a umplut cu o pată de fildeş.

— Priviţi! spuse profesorul. Am definit acum poziţia bilei în limita dimensiunilor triunghiului. Înainte, tot ce puteaţi spune cu certitudine era că bila se afla undeva pe masă, oriunde. Dar uitaţi ce se întâmplă cu viteza. Incertitudinea în viteză a explodat.

— Puteţi s-o opriţi din goana asta nebună? întrebă domnul Tompkins.

— Nu. Fizic e imposibil. Orice obiect aflat într-un spaţiu închis trebuie să aibă o anumită mişcare — noi fizicienii o numim *mişcarea punctului de zero*. E imposibil de oprit. Dacă ar sta pe loc, atunci i-am cunoaşte cu precizie viteza: ar fi zero. Dar nu putem cunoaşte viteza dacă i-am fixat în limite destul de strânse poziţia, aşa cum se întâmplă aici cu bila obligată să rămână în interiorul triunghiului.

În timp ce domnul Tompkins urmărea bila care se izbea de margini ca un tigru în cuşcă, s-a întâmplat ceva tare ciudat. Bila a ieşit afară! Se afla acum *în afara* triunghiului, rostogolindu-se către un colţ îndepărtat al mesei. Dar cum? Nu sărise peste peretele triunghiului, ci se „scursese" prin barieră.

— Aha! exclamă fericit profesorul. Aţi văzut? Una dintre cele mai interesante consecinţe ale teoriei cuantice: este imposibil să ţii ceva închis la nesfârşit, cu condiţia să existe suficientă energie pentru ca obiectul să se îndepărteze odată ce a trecut bariera. Mai devreme sau mai târziu obiectul se va „scurge" prin barieră şi va ieşi.

— Doamne fereşte! spuse domnul Tompkins. Nu mă mai duc niciodată la grădina zoologică.

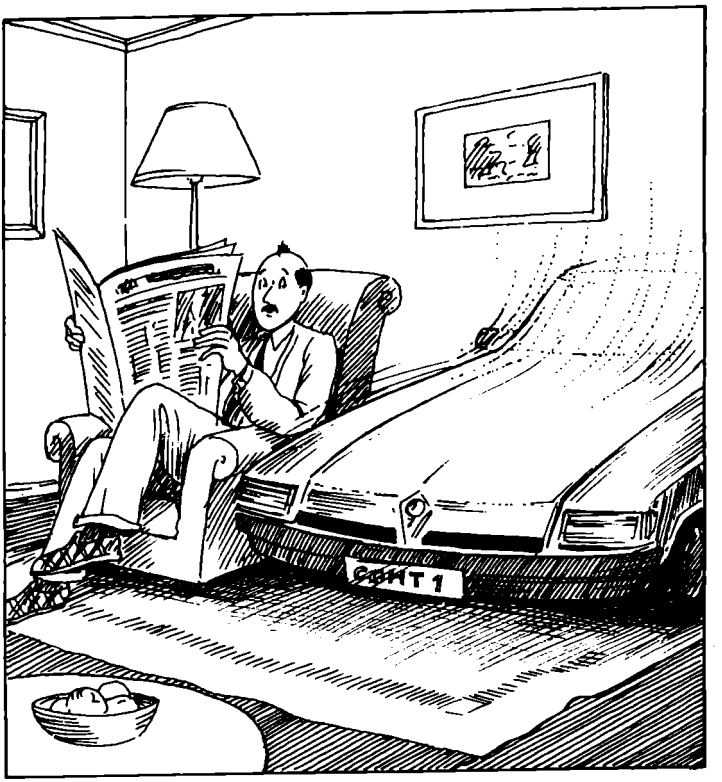
Închipuirea sa vie proiectă imediat imaginea leilor şi tigrilor „scurgându-se afară" din cuştile lor. Apoi gândurile sale urmară o altă direcţie: ce-ar fi ca maşina lui să se scurgă în afara garajului încuiat? Văzu cu ochii minţii maşina trecând prin zid, la fel ca stafiile medievale, şi ieşind în stradă. Se întreba dacă asigurarea lui prevedea o asemenea eventualitate. I-a vorbit profesorului despre asta şi l-a întrebat:

— Cât timp ar trebui să aştept ca să se întâmple aşa ceva?

După un calcul mental rapid, profesorul îi răspunse:

— Ar dura cam 1 000 000 000 ... 000 000 ani.

Deşi domnul Tompkins se obişnuise cu numerele mari din calculele de la bancă, a pierdut şirul grupelor de zerouri din



Ce-ar fi ca maşina lui să se scurgă în afara garajului încuiat?

răspunsul profesorului. Era totuşi o perioadă încurajator de lungă, suficientă ca să nu-şi facă griji.

— Dar spuneţi-mi, în lumea obişnuită, în absenţa unor bile ca acestea, cum pot fi observate asemenea fenomene, dacă durează atât de mult până ce se petrec?

— Bună întrebare. N-are rost să tot aştepţi în speranţa că ai să vezi obiecte obişnuite, din viaţa de zi cu zi, săvârşind asemenea isprăvi. Efectele legilor cuantice devin observabile doar atunci când avem de-a face cu mase foarte mici, ca atomii sau electronii. Pentru asemenea particule minuscule, efectele

cuantice sunt atât de mari, încât nu mai putem aplica mecanica obişnuită. O ciocnire între doi atomi, de pildă, ar arăta exact ca o ciocnire între două dintre aceste bile suferind de „elefantiazis-cuantic". În plus, mişcarea electronilor în atom seamănă foarte bine cu „mişcarea punctului de zero" a bilelor din interiorul triunghiului de lemn.

— Şi electronii scapă deseori din atomi? întrebă domnul Tompkins.

— Nu, nu, răspunse imediat profesorul. Asta nu se întâmplă. Aduceţi-vă aminte ce v-am spus: obiectele trebuie să aibă destulă energie ca să se îndepărteze, odată ce s-au scurs prin barieră. Un electron este ţinut în atom prin forţa de atracţie dintre sarcina sa electrică negativă şi sarcina pozitivă a protonilor din nucleu. Electronul nu are destulă energie pentru a scăpa de această atracţie, aşa că nu poate fugi. Nu, dacă vreţi să vedeţi o „scurgere", atunci vă propun să examinăm nucleul atomului. Într-o oarecare măsură nucleul se comportă ca şi cum ar fi alcătuit din particule alfa.

— Particule alfa?

— Acesta e numele care din motive istorice a fost dat nucleului de heliu. El constă din doi neutroni şi doi protoni. Este excepţional de strâns legat; cele patru particule „se potrivesc" împreună într-un mod foarte eficient. În orice caz, aşa cum am spus, datorită faptului că particulele alfa sunt atât de strâns legate, nucleele grele se pot comporta în anumite condiţii ca şi cum ar fi alcătuite dintr-o mulţime de particule alfa, şi nu din protoni şi neutroni individuali. Deşi particulele alfa se mişcă în întreg volumul din interiorul nucleului, ele sunt constrânse să stea în acest volum de acele forţe de atracţie cu rază scurtă de acţiune care ţin legate împreună particulele nucleare. În mod normal ele stau împreună, dar nu de puţine ori una din particulele alfa evadează. Ea ajunge dincolo de raza de acţiune a forţei nucleare care o ţinuse legată. De fapt, în acest moment nu mai e supusă decât forţei repulsive cu rază lungă de acţiune dintre sarcina sa electrică pozitivă şi cea a restului nucleului pe care l-a lăsat în urmă. Aşa se face că acum particula alfa e

proiectată în afară. Aceasta e o formă de *dezintegrare nucleară radioactivă*. După cum vedeţi, seamănă destul de bine cu maşina dumneavoastră din garaj, numai că particula alfa evadează mai repede!

În acest moment domnul Tompkins simţi că se întâmplă ceva ciudat cu braţul lui. Începuse să-i fie scuturat. Auzi glasul unei femei: „Ssst!" S-a trezit şi a văzut o doamnă care stătea pe banca de lângă el în amfiteatru. L-a bătut uşurel pe umăr. I-a zâmbit cu înţelegere şi i-a spus în şoaptă:

— Aţi început să sforăiţi!

Domnul Tompkins s-a aplecat spre ea şi i-a murmurat un „mulţumesc". Se întreba cât pierduse din lecţie. Poate că şi în somn, inconştient, înregistrase ceva. Şi-a amintit despre cineva care se pare că învăţase limbi străine în somn, cu căştile la urechi. Oricum, profesorul era în plin avânt...

Haideţi acum să ne întoarcem la experimentatorul nostru şi să încercăm să găsim forma matematică a limitelor impuse de condiţiile cuantice. Am văzut deja că, indiferent ce metodă de observaţie am folosi, există întotdeauna un conflict între estimarea poziţiei şi estimarea vitezei unui corp în mişcare. În metoda optică, ciocnirea dintre obiect şi fotonul provenit din sursa de lumină va introduce, datorită legii conservării impulsului, o nedeterminare în impulsul particulei comparabilă cu impulsul fotonului folosit. Astfel, conform ecuaţiei (15), putem scrie pentru nedeterminarea impulsului particulei relaţia

$$\Delta p_{\text{particulă}} \cong h/\lambda \qquad (16)$$

Amintindu-ne că nedeterminarea în poziţia particulei este dată de lungimea de undă (adică $\Delta q \cong \lambda$) vom deduce

$$\Delta p_{\text{particulă}} \times \Delta q_{\text{particulă}} \cong h \qquad (17)$$

În metoda mecanică de observare folosind „clopoţeii", nedeterminarea impulsului particulei în mişcare va fi egală cu cantitatea preluată de limba clopotului. Pentru că limba trebuie să

rămână în interiorul clopotului, impulsul ei trebuie să corespundă unei lungimi de undă comparabile cu dimensiunea clopotului, l. Astfel, folosind ecuaţia (15), $\Delta p_{\text{particulă}} \cong h/l$. Amintindu-ne că în acest caz nedeterminarea poziţiei este dată de dimensiunea clopotului (adică $\Delta q \cong l$), vom ajunge din nou la aceeaşi ecuaţie (17). Această relaţie universală între două nedeterminări, implicând constanta lui Planck, a fost formulată pentru prima dată de fizicianul german Werner Heisenberg. Prin urmare, ecuaţia (17) este cunoscută sub numele de *relaţia de incertitudine a lui Heisenberg*. De aici devine imediat clar că, cu cât se defineşte mai bine poziţia, cu atât impulsul (sau viteza) va fi mai puţin determinat, şi viceversa. Amintindu-ne că impulsul este produsul dintre masa particulei în mişcare şi viteza ei, putem scrie

$$\Delta v_{\text{particulă}} \times \Delta q_{\text{particulă}} \cong h/m_{\text{particulă}} \qquad (18)$$

Pentru corpurile cu care avem de-a face în mod obişnuit, această nedeterminare este extraordinar de mică. Pentru o particulă de praf, cu o masă de 0,000 000 1 g, atât poziţia, cât şi impulsul pot fi măsurate cu o precizie de 0,000 000 01% ! Dar, pentru un electron (cu o masă de 10^{-30} kg), produsul $\Delta v\, \Delta q$ trebuie să fie de ordinul 10^{-4} m^2/s. În interiorul unui atom, viteza electronului trebuie să fie mai mică decât 10^6 m/s, altfel ar ieşi din atom. Prin urmare, viteza lui trebuie definită cu o precizie dată de această limită de viteză. Folosind ecuaţia (17), obţinem 10^{-10} m pentru nedeterminarea poziţiei, adică ne aşteptăm ca aceasta să reprezinte dimensiunea totală a unui atom. Şi, într-adevăr, experimentele ne-o confirmă. În acest moment putem înţelege ceva din importanţa şi utilitatea relaţiilor de incertitudine ale lui Heisenberg. Cunoscând doar tăria forţelor din interiorul atomului (şi deci vitezele maxime permise pentru electroni), putem ajunge la o estimare a dimensiunii atomilor!

În lecţia de astăzi am încercat să vă dau o imagine a transformărilor radicale pe care le-au suferit ideile noastre clasice

despre mişcare. Noţiunile clasice precise şi elegante s-au dus, şi poate că vă miraţi cum reuşesc fizicienii să se descurce în acest ocean de incertitudini. Prezentarea riguros matematică a mecanicii cuantice iese din cadrul unor lecţii introductive, cum sunt cele de faţă. Am să le dau totuşi celor interesaţi o idee vagă în această privinţă.

E limpede că, dacă în general nu putem defini poziţia unei particule materiale printr-un punct matematic, iar traiectoria ei printr-o linie matematică, va trebui să folosim alte metode matematice de descriere. Acestea implică folosirea funcţiilor continue (aşa cum sunt cele folosite în hidrodinamică). Asemenea funcţii ne vor permite să definim „densitatea prezenţei" obiectului „răspândit" în spaţiu.

Ar trebui poate să vă avertizez împotriva ideii eronate că funcţia care descrie „densitatea prezenţei" ar avea o realitate fizică în spaţiul nostru obişnuit tridimensional. De fapt, dacă am descrie de pildă comportamentul a două particule, trebuie să răspundem la întrebarea privind prezenţa primei particule într-un loc şi apoi la cea privind prezenţa simultană a celei de-a doua într-un alt loc. Pentru aceasta trebuie să folosim o funcţie cu şase variabile (coordonatele celor două particule), iar acestea nu pot fi „localizate" în spaţiul tridimensional. Pentru sisteme mai complexe, se vor folosi funcţii cu un număr încă şi mai mare de variabile. În acest sens, *funcţia de undă* din mecanica cuantică este analogul „funcţiei potenţial" a unui sistem de particule din mecanica clasică sau a „entropiei" unui sistem din mecanica statistică. Ea doar *descrie* mişcarea şi ne ajută să prezicem probabilităţile relative ale diferitelor rezultate posibile în următoarea noastră observaţie asupra obiectului. De exemplu, să presupunem că avem un fascicul de electroni supus difracţiei la trecerea prin fantele unei bariere, pentru ca în final să ciocnească un ecran situat la distanţă, unde sosirea lor este înregistrată. Funcţia de undă a acestui aranjament fizic ne permite să calculăm probabilităţile relative pentru electronii ce ajung în diferite locuri pe ecran — sub formă de cuante localizate sau particule.

Fizicianul austriac Erwin Schrödinger a fost primul care a scris ecuația ce definește comportarea funcției de undă, Ψ, a unei particule materiale. Nu voi intra în detaliile deducerii matematice a ecuației lui fundamentale, dar vreau să vă atrag atenția asupra cerințelor care conduc la ea, cea mai importantă dintre ele fiind una cât se poate de neobișnuită: ecuația trebuie scrisă în așa fel încât funcția care descrie mișcarea particulelor materiale să aibă toate caracteristicile unei *unde*.

Astfel, comportarea funcției noastre Ψ nu este analogă cu (de pildă) trecerea căldurii printr-un perete încălzit pe o parte, ci cu deplasarea unei deformări mecanice (o undă de sunet) prin același perete. Din punct de vedere matematic, se cere o formă destul de restrictivă de ecuație. Această condiție fundamentală, împreună cu cerința suplimentară ca ecuația noastră să se transforme în ecuațiile mecanicii clasice atunci când este aplicată particulelor cu masă mare, pentru care efectele cuantice devin neglijabile, reduce problema găsirii acestei ecuații la un exercițiu pur matematic.

Dacă vreți să vedeți cum arată ecuația în forma ei finală, iat-o:

$$\nabla^2\Psi + \frac{4\pi mi}{h}\dot{\Psi} - \frac{8\pi^2 m}{h}U\Psi = 0 \qquad (19)$$

În această ecuație, particulele au masa m, iar funcția U reprezintă potențialul forțelor ce acționează asupra particulelor. Ecuația conduce la soluția pentru mișcarea particulelor, dată fiind distribuția particulară a forțelor. Aplicarea *ecuației de undă a lui Schrödinger* a permis fizicienilor să obțină cea mai completă și logic coerentă imagine asupra tuturor fenomenelor ce au loc în lumea sub-atomică.

Cred că nu pot încheia fără să vă spun două cuvinte despre matrici. Dacă ați citit câte ceva despre fizica cuantică, poate că ați întâlnit această abordare foarte diferită a subiectului. Trebuie să mărturisesc că mie nu prea îmi plac matricile și prefer să mă descurc fără ele. Dar, pentru a nu ocoli problema, le voi menționa.

Mişcarea unei particule sau a unui sistem mecanic complex este întotdeauna descrisă, aşa cum aţi văzut, de anumite funcţii de undă continue. Aceste funcţii sunt deseori complicate şi pot fi reprezentate ca fiind compuse dintr-un număr de oscilaţii simple, aşa-numitele „funcţii proprii", cam în felul în care un sunet complicat poate fi alcătuit dintr-un număr de note armonice simple. Putem descrie întreaga mişcare complexă dând amplitudinile diferitelor ei componente. Deoarece numărul componentelor (tonurilor) este infinit, putem scrie tablouri infinite de amplitudini sub forma:

$$\begin{matrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{matrix} \qquad (20)$$

Un astfel de tabel, care se supune unor operaţii matematice cu reguli relativ simple, se numeşte „matrice". Unii fizicieni teoreticieni preferă să opereze cu matrici în locul funcţiilor de undă. Astfel, „mecanica matriceală", aşa cum e uneori numită, este doar o modificare matematică a obişnuitei „mecanici ondulatorii".

Îmi pare tare rău că timpul nu-mi permite să vă prezint progresele teoriei cuantice în raporturile ei cu teoria relativităţii. Dezvoltarea, datorată în special fizicianului britanic Paul Dirac, presupune câteva aspecte foarte interesante şi a condus la descoperiri experimentale extrem de importante. Poate că voi reuşi să revin cu altă ocazie la aceste probleme, dar acum trebuie să mă opresc.

9 Safari cuantic

Bip... bip... bip

Domnul Tompkins s-a întins din aşternut şi a oprit alarma ceasului deşteptător. Gândul că e luni dimineaţă şi trebuie să meargă la muncă a prins să i se strecoare în conştiinţă. Dar s-a prăbuşit la loc: au început obişnuitele sale zece minute de picoteală înainte ca zgomotul insistent să se audă din nou...

— Ei! Haide! E timpul să te trezeşti. Trebuie să prindem avionul, adu-ţi aminte.

Era profesorul. Stătea lângă pat, cu o valiză mare în mână.

— Ce... ce-i asta? bâigui domnul Tompkins frecându-se la ochi.

— Mergem la un safari. Să nu-mi spui că ai uitat!

— Safari!?

— Bineînţeles. Decolăm spre jungla cuantică. Mare noroc am avut cu proprietarul barului. Mi-a spus de unde provine fildeşul pentru bilele lui de biliard.

— Fildeş?! Doar n-o să căutăm acum fildeş...

Ignorând protestul domnului Tompkins, profesorul a început să scotocească prin buzunarul lateral al valizei.

— Ah! Aici era, exclamă scoţând o hartă. Ia uite. Am marcat regiunea cu roşu. Vezi? Totul în interiorul suprafaţei marcate se supune legilor cuantice cu o constantă a lui Planck foarte mare. Plecăm să investigăm.

Călătoria a fost lipsită de peripeţii, iar domnul Tompkins abia şi-a dat seama cum a trecut timpul când au aterizat la des-

tinația lor dintr-un ținut îndepărtat. După spusele profesorului, era zona populată cea mai apropiată de misterioasa regiune cuantică.

— Ne va trebui un ghid, spuse el.

Numai că găsirea unui ghid s-a dovedit o sarcină tare dificilă. Localnicii priveau cu teamă jungla cuantică și în mod normal nu se apropiau niciodată de acele locuri. În cele din urmă însă, un flăcău îndrăzneț, „dat dracului", bătându-și joc de lașitatea prietenilor săi, s-a oferit să-i conducă pe cei doi vizitatori.

Primul popas l-au făcut la piață, pentru provizii.

— Trebuie să închiriați un elefant ca să ne ducă în spinare, spuse băiatul.

Domnul Tompkins privi spre uriașul animal și fu pe dată cuprins de spaimă. Se așteptau să încalece pe *ăsta*!

— Știți, eu n-aș prea vrea. N-am făcut așa ceva niciodată. Sincer, nu pot. Un cal, poate. Dar nu ăsta.

Exact în acel moment zări un negustor care vindea măgari. Se lumină la față.

— Ce ziceți de unul dintr-ăștia? Ar fi mai pe măsura mea.

Flăcăul începu să râdă batjocoritor.

— Să iei un măgar în jungla cuantică? Glumiți. E ca și cum ați călări un mustang nărăvaș. Vă va arunca imediat, asta presupunând că măgarul nu vi se va scurge până atunci printre picioare.

— Da, murmură profesorul. Încep să înțeleg. Flăcăul are dreptate.

— Oare? zise domnul Tompkins. Mi-e teamă că e înțeles cu proprietarul elefantului. Vor să ne jupoaie punându-ne să cumpărăm ceva de care nu avem nevoie.

— Chiar avem nevoie de elefant, răspunse profesorul. Nu putem călări un animal care se va împrăștia în spațiu, ca bilele acelea. Trebuie să fim atașați de ceva greu. În felul ăsta impulsul va fi mare, chiar dacă mergem încet, iar lungimea de undă va fi mică. Am spus mai demult că incertitudinea în poziție și viteză depinde de masă; cu cât masa e mai mare, cu

atât incertitudinea e mai mică. De aceea legile cuantice nu sunt observate în lumea obişnuită nici măcar pentru obiecte uşoare cum sunt particulele de praf. Pentru electroni, atomi şi molecule, da. Dar nu pentru obiecte de dimensiuni normale. Pe de altă parte, în jungla cuantică constanta lui Planck e mare. Însă nici măcar aici nu e suficient de mare ca să producă efecte vizibile asupra unui animal atât de greu ca elefantul. Nedeterminarea poziţiei unui elefant cuantic poate fi observată doar dacă cercetezi mai îndeaproape. Ne putem aştepta să aibă conturul uşor difuz, dar nimic mai mult. Cu timpul, această nedeterminare va creşte foarte încet. De aici probabil legenda că elefanţilor foarte bătrâni din jungla cuantică le creşte o blană lungă.

După o scurtă tocmeală, profesorul căzu de acord asupra preţului şi se urcă pe elefant împreună cu domnul Tompkins, în coşul de pe spatele animalului. Flăcăul se urcă pe ceafa elefantului şi porniră spre jungla misterioasă.

Le-a luat aproape o oră să ajungă la lizieră. Pe când intrau în pădure, domnul Tompkins a remarcat că frunzele copacilor foşneau, deşi nu părea să bată vântul. L-a întrebat pe profesor de ce.

— Ah, pentru că ne uităm noi la ele, sosi răspunsul.

— Ne uităm la ele! Şi ce are a face? Sunt chiar aşa timide?

— N-aş folosi cuvântul ăsta, zâmbi profesorul. De fapt, orice observaţii ai efectua, nu poţi să nu perturbi ceea ce priveşti. Fotonii luminii solare izbesc evident mai puternic aici decât cei cu care suntem obişnuiţi acasă. Acum, cu o constantă Planck mult mai mare, ne putem aştepta să găsim o lume destul de dură. Nici o acţiune delicată nu e cu putinţă aici. Dacă cineva încearcă să mângâie un câine, acesta fie nu simte nimic, fie i se rupe gâtul la prima cuantă de mângâiere.

Călărind printre copaci, domnul Tompkins începu să mediteze.

— Şi dacă nu priveşte nimeni? Se vor comporta toate normal atunci? Vreau să zic, frunzele se vor comporta aşa cum ne-am obişnuit?

— Cine poate şti? cugetă profesorul. Când nu priveşte nimeni, cine ar putea şti cum se comportă?

— Vreţi să spuneţi că e mai curând o problemă filozofică, decât una ştiinţifică?

— Poţi să-i spui filozofie, dacă vrei. Dar poate că pur şi simplu e o întrebare fără sens. Un lucru este clar, cel puţin în *ştiinţă*, există un principiu fundamental conform căruia trebuie să încerci *să nu vorbeşti niciodată despre ceea ce nu poţi testa experimental*. Toate teoriile din fizica modernă se bazează pe acest principiu. În filozofie s-ar putea ca lucrurile să stea altfel. Unii filozofi ar putea încerca să meargă mai departe. De pildă, filozoful german Immanuel Kant a petrecut mult timp reflectând la proprietăţile obiectelor nu aşa cum „ne apar", ci cum „sunt în sine". Pentru fizicienii moderni doar aşa-numitele „observabile" — rezultatele măsurătorilor, cum ar fi poziţia şi impulsul —, doar ele au semnificaţie. Toată fizica modernă se bazează pe relaţiile reciproce...

În acel moment s-a auzit un zumzăit. S-au uitat în sus şi imediat şi-a făcut apariţia o insectă mare, neagră. Era cam de două ori mai mare decât un tăun şi părea tare nesuferită. Flăcăul le strigă să se ferească. A scos un plici de muşte şi a lovit spre insecta care îi ataca. Insecta a devenit o pată, apoi pata la rândul ei a devenit un nor difuz care a învăluit elefantul şi pe cei din cârca lui. Flăcăul lovea acum în toate direcţiile, dar mai ales în regiunea unde norul era mai dens.

Plici! Reuşi în fine s-o atingă. Norul dispăru pe dată, iar cadavrul insectei putea fi văzut descriind un arc în aer şi aterizând undeva în tufişurile dese.

— Bine ţintit! exclamă profesorul.

Băiatul privea triumfător.

— Nu sunt sigur că am înţeles ce s-a întâmplat... şopti domnul Tompkins.

— Nimic grav, răspunse profesorul. Insecta e foarte uşoară. După ce am zărit-o prima dată, cu trecerea timpului, poziţia ei a devenit din ce în ce mai incertă. În cele din urmă am fost

ÎNCONJURAȚI DE NORUL DE PROBABILITATE AL INSECTEI

înconjuraţi de un „nor de probabilitate al insectei" — cam aşa cum e nucleul atomic înconjurat de un „nor de probabilitate al electronilor". În timp ce se petreceau toate astea, noi nu mai ştiam cu precizie unde se află insecta. Dar şansa cea mai mare de a o găsi era în locul unde norul de probabilitate era cel mai dens. N-ai văzut că flăcăul lovea mai ales în părţile cele mai dense ale norului? A fost strategia corectă. În felul ăsta, probabilitatea de a nimeri insecta a sporit. După cum vezi, în lumea cuantică nu poţi ţinti cu precizie şi nu poţi fi sigur de lovitură.

Porniră din nou la drum, iar profesorul continuă:

— Exact asta se întâmplă şi în lumea de acasă, dar la o scară mult mai mică. Comportamentul electronilor în jurul nucleului atomic este în multe privinţe analog cu comportamentul insectei care părea să fie de jur-împrejurul elefantului. Nici în cazul electronilor nu eşti mai sigur că îi poţi lovi cu un foton decât, să zicem, a fost flăcăul că va lovi musca. Totul e probabilistic — dai cu zarurile. Trimiţi un fascicul de lumină spre atom şi majoritatea fotonilor vor rata ţinta; vor trece prin el fără să aibă vreun efect. Tot ce poţi să speri este că unul dintre fotoni va lovi ţinta în plin.

— Seamănă cu povestea bietului câine care, în lumea cuantică, nu poate fi mângâiat fără a fi ucis, trase concluzia domnul Tompkins.

Chiar atunci au ieşit din pădure şi au ajuns pe un platou înalt de unde se vedea întreg ţinutul. Câmpia ce se întindea în faţa lor era împărţită în două printr-o linie deasă de copaci care străjuiau malurile unui râu secat şi se întindeau până în depărtare.

— Uite! Gazele, o mulţime de gazele! strigă încântat profesorul, arătând spre o turmă ce păştea liniştită undeva în dreapta.

Dar atenţia domnului Tompkins fusese atrasă de ceva aflat de cealaltă parte a şirului de copaci. Văzuse un grup de leoaice. Apoi, puţin mai departe, zări alt grup, şi altul, şi altul... Grupurile de leoaice erau înşirate pe o linie dreaptă paralelă cu şirul de copaci. Mai mult, grupurile erau aşezate la distanţe riguros

egale unele de altele. Ce ciudat, îşi zise el. Îi amintea de o scenă care-l întâmpina în fiecare dimineaţă, de luni până vineri, pe peronul gării. Printr-o experienţă îndelungată, călătorii obişnuiţi ai cursei de 7.05 a.m. ştiau exact unde se vor deschide uşile când va opri trenul. Dacă nu eşti exact în dreptul uşii când se deschide, n-ai nici o şansă să prinzi un loc. De aceea obişnuiţii cursei se aflau, ca şi domnul Tompkins, în mici grupuri la intervale regulate de-a lungul peronului.

Leoaicele aşteptau şi priveau spre două breşe înguste în şirul de copaci. Dar înainte ca domnul Tompkins să poată întreba ce se întâmplă, o mare agitaţie avu loc în extrema dreaptă. O leoaică solitară ieşise brusc în câmp deschis din locul unde se ascunsese. Gazelele au zărit-o şi au fost imediat cuprinse de panică. Au pornit în goană spre cele două breşe din şirul de copaci.

Când au trecut în partea cealaltă, s-a întâmplat un lucru din cale-afară de ciudat. În loc să rămână împreună ca o turmă sau să se împrăştie în toate direcţiile, ele au pornit în coloane separate — fiecare coloană *îndreptându-se direct către unul din grupurile de leoaice care aşteptau*. Ajunse acolo, gazelele kamikaze au fost imediat prinse şi mâncate.

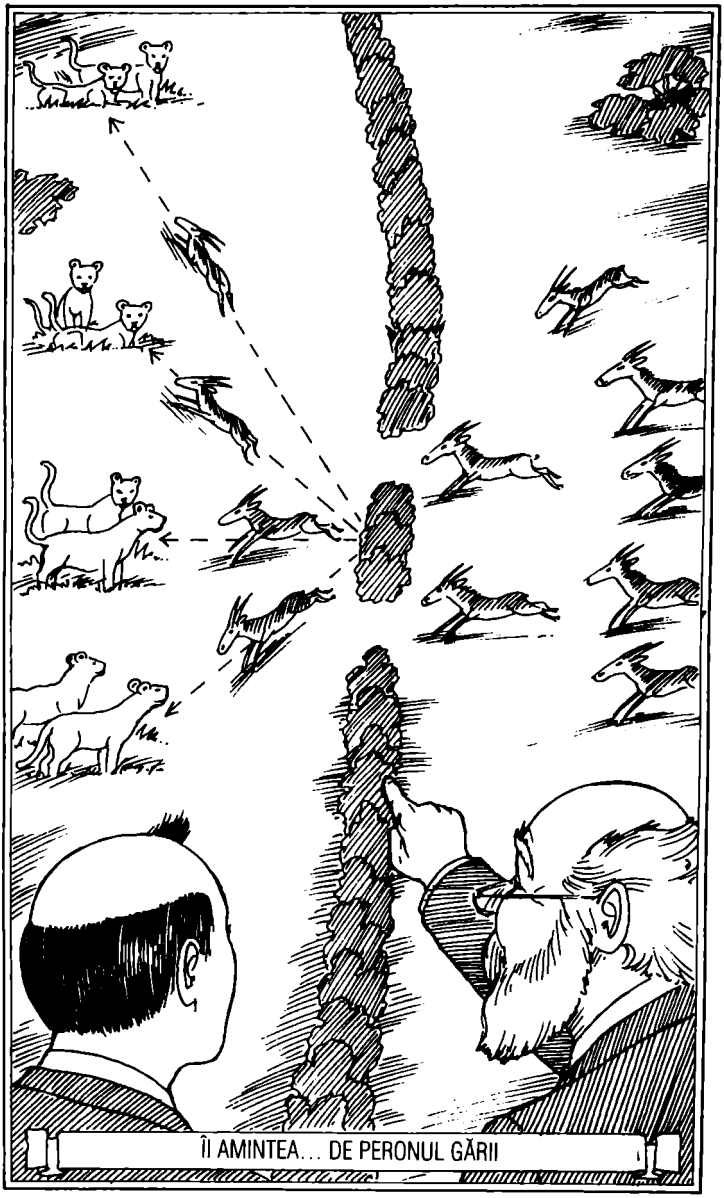
Domnul Tompkins era mut de uimire.

— N-are nici un sens! strigă el.

— Ba *are*, oftă profesorul. Bineînţeles că are. E absolut fascinant. Fanta dublă a lui Young.

— Care dublă? A cui?

— Iartă-mă. Alţi termeni de specialitate. Există un experiment în care trimiţi un fascicul spre două fante dintr-o barieră. Dacă fasciculul ar fi alcătuit din particule — cum e vopseaua care e pulverizată dintr-un spray — ne-am aştepta ca de partea cealaltă să avem două fascicule, câte unul corespunzând fiecărei fante. Dar dacă fasciculul este alcătuit din unde, fiecare fantă acţionează ca o sursă de unde. Ele se vor împrăştia, suprapunându-se una peste cealaltă. Dealurile şi văile — maximele şi minimele — celor două unde se vor amesteca şi vor interfera între ele. În unele direcţii trenurile de undă vor fi


Îl AMINTEA... DE PERONUL GĂRII

defazate; maximul uneia va coincide cu minimul alteia; ele se vor anula reciproc, aşa că în acele direcţii nu se va întâmpla nimic. Numim aceasta *interferenţă distructivă*. În alte direcţii, dimpotrivă, trenurile de undă sunt în fază, maximul uneia coincide cu maximul celeilalte; ele se întăresc reciproc şi se obţine o undă foarte mare transmisă în acele direcţii. Este ceea ce numim *interferenţă constructivă*.

— Vreţi să spuneţi că se obţin fascicule separate de cealaltă parte a fantelor — acolo unde avem interferenţă constructivă — şi nimic între ele, acolo unde interferenţa e distructivă? întrebă domnul Tompkins.

— Exact. Şi nu trebuie să fie neapărat doar două fascicule. Pot fi multe, egal separate unele de altele. Unghiul sub care ies depinde de lungimea de undă a fasciculului iniţial şi de distanţa care separă cele două fante. Faptul că se pot obţine mai mult de două fascicule dovedeşte că avem de-a face cu unde şi nu cu particule. Acesta se numeşte „experimentul lui Young cu două fante", deoarece astfel fizicianul Young a demonstrat că fasciculele de lumină sunt alcătuite din unde. Acum, în versiunea de aici — şi profesorul arătă spre măcelul care avea loc jos — avem demonstraţia că şi gazelele au un comportament de undă.

— Tot nu pricep, insistă domnul Tompkins. De ce s-au sinucis gazelele în felul ăsta?

— Nu aveau de ales. Modelul de interferenţă a stabilit locul unde era cel mai probabil ca ele să ajungă. Pentru nici una dintre gazele nu se putea şti în ce direcţie urma să iasă după ce va fi trecut de şirul de copaci. Tot ce se poate spune dinainte este că probabilitatea va fi mai mare în anumite direcţii şi mai mică în altele. Gazelele trebuiau să treacă prin fante şi să vadă ce se întâmplă. Din păcate pentru ele, leoaicele sunt vânători experimentaţi. Ele ştiu cam cât cântăreşte o gazelă medie şi cât de repede poate fugi. Astfel se determină impulsul, şi deci lungimea de undă a fasciculului de gazele. Leoaicele cunosc de asemenea distanţa între breşele din şirul de copaci şi n-au decât să calculeze unde să se aşeze ca să-şi aştepte prânzul.

— Vreți să spuneți că leoaicele se pricep la matematică!? exclamă domnul Tompkins nevenindu-i să-și creadă urechilor.

Profesorul izbucni în râs.

— Nu. Mă îndoiesc. Un copil nu trebuie să calculeze traiectoria parabolică a mingii ca să fie în stare s-o prindă. Este o judecată instinctivă, probabil.

Cum se uitau ei în jos, leoaica aceea care speriase la început turma și o făcuse s-o ia la goană s-a alăturat unuia din grupurile de leoaice pentru a-și căpăta partea ei de pradă.

— Bine jucat, observă profesorul. Ai văzut cât de încet s-a furișat prin breșele dintre copaci. Era evident că încearcă să compenseze masa ei mai mare decât cea a unei gazele tipice. Mișcându-se încet, a sfârșit prin a avea aceeași lungime de undă. În felul ăsta s-a asigurat că și ea va fi difractată într-una din direcțiile urmate de gazele, iar astfel va avea la rândul ei parte de prânz. Un biolog evoluționist ar putea studia tipurile de comportament care au fost selectate pentru acest mediu...

A fost întrerupt de un nou bâzâit.

— Atenție! strigă ghidul. Altă insectă ne atacă.

Domnul Tompkins s-a lăsat repede în jos și, pentru mai multă siguranță, și-a tras haina pe cap. Doar că nu era haina, ci cearșaful. Iar zgomotul nu era scos de o insectă cuantică, ci de ceasul deșteptător.

10 Demonul lui Maxwell

În lunile următoare domnul Tompkins şi Maud au vizitat împreună galerii de artă şi şi-au împărtăşit părerile pro sau contra celor văzute. El a încercat din răsputeri s-o iniţieze în misterele fizicii cuantice pe care le descoperise de curând. Cu mintea lui obişnuită cu cifrele, i-a oferit un ajutor nepreţuit în tot ce ţinea de latura comercială a relaţiilor ei cu negustorii şi proprietarii de galerii.

La momentul potrivit, el a găsit curajul s-o ceară în căsătorie şi s-a bucurat când Maud a acceptat. Au hotărât să se stabilească la Norton Farm; în felul acesta ea nu trebuia să-şi părăsească atelierul.

Într-o sâmbătă dimineaţă aşteptau vizita tatălui ei. Maud şedea pe canapea citind ultimul număr din *New Scientist*. Domnul Tompkins lucra la masa din sufragerie, încercând să facă ordine printre documentele ei fiscale. Sortând teancul facturilor de la materialele pentru pictură, spuse:

— Nu mă văd ieşind mai devreme la pensie şi trăind din ce câştigă soţia mea, oricum nu în viitorul apropiat.

— Nici eu nu văd cum am putea trăi amândoi din ce câştigi tu, răspunse ea fără să ridice privirea din revistă.

Domnul Tompkins oftă, strânse hârtiile şi le puse la loc în dosar. Luă ziarul şi se aşeză pe canapea alături de Maud. Răsfoind suplimentul color, dădu peste un articol despre jocurile de noroc care îi atrase atenţia.

— Hei, zise după o clipă. Cred că am găsit răspunsul. Un sistem de pariuri garantat sută la sută.

— Ah, da, murmură Maud absentă, continuând să citească. Cine spune?

— Scrie aici.

— Păi dacă scrie în ziar, atunci trebuie să fie adevărat, spuse Maud sceptică.

— Nu, serios. Ascultă aici. Pariezi pe primul cal ca să câştigi o liră, să zicem. Dacă câştigi, bine. Pui o liră la bancă.

— Şi dacă pierzi?

— Dacă pierzi, pariezi pe un al doilea cal, dar acum creşti miza, aşa încât, dacă câştigi, capeţi înapoi ce-ai pierdut la prima cursă, plus o liră. În felul ăsta ai o liră ca s-o pui la bancă şi n-ai pierdut nimic. Dacă pierzi a doua oară, atunci la a treia cursă creşti miza, aşa încât să-ţi recuperezi pierderile din primele două curse şi în plus să câştigi o liră. E simplu. În felul ăsta, nu contează de câte ori pierzi, la urmă îţi recuperezi banii

Obţii în mod obligatoriu profit

de la cursele precedente — sunt doar pierderi temporare — *şi* pe deasupra scoţi şi un profit de o liră.

— Păi o liră nu-i mare lucru, spuse Maud deloc convinsă.

— Ăsta e doar începutul, zise domnul Tompkins excitat. Aici spune că pui câştigurile de o liră la bancă şi nu te atingi de ele. O iei de la capăt. Pariezi o liră pe un cal; dacă pierzi, creşti miza ca să-ţi acoperi pierderea şi în plus capeţi un profit de o liră. O ţii tot aşa până când, în cele din urmă, câştigi din nou, iar asta îţi aduce o nouă liră de pus la bancă. Acum ai două lire. Pe urmă trei lire, patru lire şi aşa mai departe, la infinit. Ei, ce zici de asta! încheie el triumfător.

— Ce să zic? Nu prea ştiu, răspunse ea neîncrezătoare. Tata spune întotdeauna că nu există un sistem infailibil de a câştiga la jocurile de noroc.

— Nu? Unde-i hiba? întrebă el. Uite ce, eu am să-ţi *demonstrez*. O să pun în practică sistemul chiar acum.

Acestea fiind zise, domnul Tompkins se întoarse la paginile destinate curselor de cai, închise ochii şi puse degetul pe ziar.

— Demon's Delight, la ora două şi jumătate, la Haydock. E la fel de bun ca oricare altul. Perfect. Mă duc imediat la casa de pariuri.

Se ridică, îşi luă haina şi se îndreptă spre uşă. Dar înainte să ajungă se auzi soneria; era tatăl lui Maud.

— Ce faci, pleci? îl întrebă profesorul.

Domnul Tompkins i-a explicat ce avea de gând să facă.

— Am înţeles, veni răspunsul ezitant. Vechea poveste.

Profesorul străbătu coridorul trecând pe lângă domnul Tompkins şi se duse să-şi salute fiica. Era o zi frumoasă şi caldă, aşa încât au ieşit toţi trei în grădină.

— Un sistem de pariuri garantat sută la sută? De câte ori n-am mai auzit povestea *asta*!

— Ştiu că pare neverosimil, recunoscu domnul Tompkins păşind în urma profesorului. Numai că ăsta e altfel. N-ai cum să pierzi. Câştigi *în mod obligatoriu*. Nu dă greş.

— Nu? spuse profesorul zâmbind. Ia să vedem.

După ce-şi aruncă ochii asupra articolului, continuă:

— Trăsătura distinctivă a acestui sistem este că regula care dictează suma pe care o pariezi îţi cere să creşti miza după fiecare pierdere. Dacă ai câştiga şi pierde alternativ, cu perfectă regularitate, capitalul tău ar fluctua în sus şi în jos, fiecare creştere fiind uşor mai mare decât scăderea precedentă. În acest caz ţi-ai putea, bineînţeles, spori treptat capitalul de-a lungul timpului, iar la un moment dat ai ajunge milionar.

— Asta spuneam şi eu.

— Dar, după cum probabil că-ţi dai seama, o asemenea regularitate nu se întâlneşte, continuă profesorul. De fapt, probabilitatea unei asemenea serii alternante regulate este exact la fel de scăzută ca probabilitatea unei serii neîntrerupte de câştiguri. Hai să vedem ce se întâmplă dacă ai un şir de câteva câştiguri sau pierderi succesive. Dacă ai ceea ce se cheamă noroc chior, obţii o succesiune de câştiguri. Dar câştigul tău total, pariind mereu câte o liră, nu va fi prea mare. Pe de altă parte, un şir de ghinioane te va pune rapid în mare încurcătură. Vei afla că rata cu care trebuie să-ţi creşti pariul pentru a acoperi pierderile precedente te va lăsa lefter, scoţându-te din joc. De pildă, dacă balanţa e echilibrată (pariezi o liră ca să câştigi o liră), după cinci pierderi succesive va trebui să pariezi 32 de lire pentru a acoperi pierderile şi a obţine un profit de o liră; zece pierderi consecutive, iar miza devine 1 024 de lire; cincisprezece pierderi la rând te obligă să pariezi 32 768 de lire pentru a câştiga o liră! Un grafic ce ar reprezenta variaţia capitalului tău ar consta din câteva porţiuni uşor crescătoare, întrerupte de căderi foarte abrupte. La începutul jocului, e probabil să te afli pe panta lungă, uşor crescătoare, a curbei, şi să ai senzaţia plăcută că banii ţi se înmulţesc încet, dar sigur. Dar, dacă vrei să continui pentru suficient de mult timp, în speranţa unor profituri din ce în ce mai mari, vei ajunge pe neaşteptate la o cădere bruscă, atât de adâncă încât te va obliga să pariezi — şi să pierzi — până şi ultimul penny. Ce e important de ştiut

e că nici o pungă nu e infinită. Orice jucător care intră în acest sistem are fonduri limitate. Pot fi mari, dar sunt în mod necesar *limitate*. Aşa stând lucrurile, *trebuie* să vină un moment când, prin legile probabilităţilor, o serie de ghinioane să producă pierderi suficiente pentru a lichida fondurile. În general, cu sistemul ăsta, sau cu oricare altul, probabilitatea să-ţi dublezi fondurile iniţiale este egală cu cea de a pierde tot. Cu alte cuvinte, şansele câştigului final sunt exact aceleaşi ca atunci când ţi-ai pune toate fondurile la bătaie dând cu banul — câştigi dublu sau rămâi fără nimic. Tot ce poate face un asemenea sistem este să prelungească jocul şi să-ţi aducă mai multă distracţie (sau disperare) pe banii tăi. Bineînţeles, până acum am presupus că agentul de pariuri nu-şi ia partea lui, ceea ce e fals, astfel încât lucrurile arată mai rău decât le-am prezentat eu. Singura persoană care cu certitudine va fi fericită şi prosperă după aplicarea sistemului tău sută la sută garantat e agentul de pariuri.

— Vreţi să spuneţi că nu există nici o cale de a câştiga bani fără a risca să pierzi totul, şi încă cu cea mai mare probabilitate? întrebă descurajat domnul Tompkins.

— Exact. Ba mai mult, ce am spus nu se referă numai la probleme oarecum insignifiante, cum ar fi jocurile de noroc, ci la o mare diversitate de fenomene fizice, care la prima vedere nu par să aibă nimic în comun cu jocurile de noroc şi cu legile probabilităţilor. Apropo, dacă ai putea născoci un sistem care să învingă legile probabilităţilor, există lucruri mult mai interesante decât să câştigi cu el nişte bani. S-ar putea construi maşini care să meargă fără benzină, fabrici care să funcţioneze fără cărbune sau petrol şi o mulţime de alte lucruri fantastice.

— Chiar aşa? întrebă domnul Tompkins, care începu să asculte iar cu interes şi se aşeză la loc pe canapea. Am citit despre asemenea maşini. Perpetuum mobile, nu? Dar credeam că nu poate exista aşa ceva — maşini care să funcţioneze fără combustibil. Nu poţi să obţii energie din nimic.

— Bravo, băiete! spuse profesorul, mulţumit că izbutise să abată atenţia ginerelui de la sistemele aiurite ale jocurilor

de noroc, pentru a-l readuce la subiectul său favorit: fizica. Acest tip de mişcare veşnică, numit „perpetuum mobile de speţa întâi", nu poate exista fiindcă ar contraveni legii conservării energiei. Maşinile fără combustibil la care mă gândeam sunt însă de alt tip. Ele se numesc „perpetuum mobile de speţa a doua". Nu sunt proiectate să creeze energie din nimic, ci să *extragă* energie — energie existentă în rezervoarele de căldură din jur, în aer, în mare sau pe pământ. Ai putea, de pildă, să-ţi închipui un vapor în care cazanele produc aburi extrăgând căldura din apa înconjurătoare, în loc să ardă cărbuni sau petrol. Ar depinde de capacitatea ta de a obliga căldura să se scurgă de la ceva mai rece la ceva mai cald, exact opusul a ceea ce face căldura în mod normal.

— Ce idee bună! se entuziasmă domnul Tompkins. Am putea să construim un sistem de pompare a apei de mare, să luăm conţinutul ei de căldură, căldura să meargă la cazane, iar ce rămâne — blocurile de gheaţă — ei bine, ar putea fi aruncat peste bord. De fapt, îmi aduc aminte din şcoală că, atunci când răceam un litru de apă până la îngheţ, elibera suficientă căldură pentru a aduce un alt litru de apă până aproape de punctul de fierbere. Nu-i aşa? În felul ăsta, tot ce-am avea de făcut ar fi să pompăm câţiva litri de apă de mare pe minut şi am putea cu uşurinţă colecta destulă căldură pentru a pune în funcţiune un motor de dimensiuni potrivite. Am impresia că suntem pe drumul cel bun.

— Masa e servită, strigă Maud din sufragerie.

Cei doi, care fuseseră atât de adânciţi în conversaţie încât nici nu observaseră când Maud îi părăsise ca să pregătească prânzul, au intrat în casă.

— Să lăsăm pariurile, Maud, spuse domnul Tompkins aşezându-se la masă. Tatăl tău are ceva mult mai sigur!

După ce şi-a pus legume în farfurie, domnul Tompkins făcu o pauză şi se încruntă. Se întoarse spre profesor:

— Dar... dacă-i o idee atât de bună, cum de nu s-a gândit nimeni până acum la ea?

Profesorul zâmbi.

— Ba s-au gândit destui. Numai că, pentru toate scopurile practice, o asemenea maşină — perpetuum mobile de speţa a doua — ar fi exact la fel de bună ca aceea destinată să creeze energie din nimic. Cu motoare de felul ăsta, nu te mai temi de facturile la energie sau de epuizarea resurselor energetice. Necazul e că asemenea maşini sunt la fel de imposibile ca acelea de primul tip.

— Dar de ce?

— Legile probabilităţilor, răspunse profesorul. Aceleaşi legi care interzic sistemul tău de joc.

— Nu pricep. Nu văd legătura. Ce-au a face legile probabilităţilor cu toate astea?

— Ei bine, procesele termice sunt supuse probabilităţilor; seamănă foarte bine cu jocurile de noroc — pariurile hipice, aruncarea cu zarul, ruleta şi toate celelalte. Să te aştepţi să se scurgă căldura de la ceva rece către ceva mai cald... ei bine, asta ar fi ca şi cum te-ai aştepta să curgă banii din banca agentului de pariuri direct în buzunarul tău. Sau ca sarea să se presare singură în farfuria mea, fără să-i dea nimeni o mână de ajutor.

— Sare? Cum...?

— Cyril, îl dojeni blând Maud, arătând spre solniţă.

— Pardon, spuse el scuzându-se şi dându-i solniţa socrului. Nu mi-am dat seama.

— Ce-ar fi să schimbăm subiectul? sugeră Maud. Măcar până terminăm de mâncat.

După prânz, au hotărât să-şi bea cafeaua afară. Profesorul îi ceru domnului Tompkins un păhărel de whisky.

— Beau rar, băiete. Nu-s obişnuit cu prânzurile copioase. Ajută la digestie.

După ce s-au aşezat în şezlonguri, profesorul îi şopti conspirativ domnului Tompkins:

— Crezi că putem continua de unde ne-am oprit?

Maud îl auzi şi protestă vag:

— E sâmbătă, ce Dumnezeu... Ar trebui să existe o regulă ca nimeni să nu discute probleme profesionale în weekend.

Fără s-o bage în seamă, s-au întors la tema probabilităţilor.

— Ce ştii despre căldură? întrebă profesorul.

— Nu mare lucru.

— Bun. Păi nu e decât mişcarea rapidă şi neregulată a atomilor şi moleculelor. Ştii, bineînţeles, că toate corpurile materiale sunt alcătuite din atomi. Şi că unii atomi se leagă între ei pentru a forma molecule.

Domnul Tompkins dădu din cap în semn că da.

— Bine, continuă profesorul. Cu cât e mai violentă această mişcare moleculară, cu atât corpul e mai cald. Cum mişcarea moleculară este foarte neregulată, ea se supune legilor probabilităţilor. E uşor de demonstrat că starea cea mai probabilă a unui sistem format dintr-un număr mare de particule va corespunde unei distribuţii mai mult sau mai puţin uniforme a energiei totale disponibile între toţi constituenţii. Dacă dintr-un motiv oarecare o anume parte a obiectului se încălzeşte — cu alte cuvinte, moleculele din această regiune se mişcă mai repede —, ne putem aştepta ca, printr-un număr mare de ciocniri întâmplătoare, acest exces de energie să fie curând distribuit în mod egal tuturor celorlalte particule. Dar, cum ciocnirile sunt absolut întâmplătoare, există şi posibilitatea ca, din pură şansă, un anumit grup de particule să colecteze cea mai mare parte a energiei disponibile în detrimentul celorlalte particule.

— Vreţi să spuneţi că temperatura ar creşte? îndrăzni domnul Tompkins. Un loc s-ar încălzi, iar altul s-ar răci?

— Exact. Ar avea loc o concentrare spontană a energiei termice într-o anume parte a obiectului, iar aceasta ar corespunde unei scurgeri de căldură *în sens contrar* gradientului de temperatură — de la rece la cald. Această posibilitate nu e exclusă, cel puţin în principiu. Totuşi, dacă încercăm să calculăm probabilitatea relativă ca o asemenea concentrare spontană de căldură să aibă loc, obţinem valori numerice atât de mici încât fenomenul e practic imposibil.

— Dacă înţeleg eu bine, vreţi să spuneţi că acest perpetuum mobile de speţa a doua *ar putea* în principiu funcţiona. Nu

e *absolut* exclus. Dar şansele ca aşa ceva să se întâmple sunt foarte mici — de pildă ca atunci când ai arunca de o sută de ori cu zarurile şi de fiecare dată ai da şase-şase.

— Da, cam aşa ceva. Numai că probabilitatea ar fi mult mai mică, răspunse profesorul. De fapt, probabilitatea de a câştiga la un joc de noroc împotriva naturii e atât de mică încât cu greu se pot găsi cuvinte pentru a o descrie. De pildă, aş putea calcula şansele ca întreg aerul din camera asta să se adune spontan sub masă, lăsând vid în tot restul încăperii. Numărul zarurilor pe care ar fi trebuit să le arunci odată ar fi echivalent cu numărul moleculelor din cameră, aşa că ar trebui să ştiu câte sunt. Un centimetru cub de aer la presiunea atmosferică, dacă îmi aduc bine aminte, conţine cam 10^{20} molecule (1 urmat de 20 de zerouri, nu-i aşa?). Deci în întreaga cameră ar trebui să fie cam 10^{27} molecule. Spaţiul de sub masă reprezintă... să zicem unu la sută din volumul camerei. Aceasta înseamnă că şansa ca o moleculă să se afle sub masă şi nu în altă parte este de unu la o sută. Prin urmare, pentru a calcula probabilitatea ca toate moleculele să se afle sub masă, trebuie să înmulţesc o sutime cu o sutime şi aşa mai departe, pentru fiecare moleculă din cameră. Ceea ce dă o probabilitate de unu la 10^{54}.

— Oho! exclamă domnul Tompkins. Ar trebui să fii un jucător tare înrăit ca să pariezi pe şansa asta!

— Da, recunoscu profesorul. Crede-mă că e puţin probabil să te sufoci din pricina faptului că tot aerul s-ar înghesui sub masă. Şi e la fel de puţin probabil ca jumătatea de sus a cafelei tale să dea în clocot, în timp ce jumătatea de jos să se transforme într-un sloi de gheaţă.

Au izbucnit amândoi în râs.

— Dar există totuşi o *şansă* ca neobişnuitul să se producă, insistă domnul Tompkins. Nu-i aşa?

— Da, sigur că există. Nu e dincolo de limita oricărei posibilităţi ca vasul cu flori de aici să sară în sus pentru că vibraţiile moleculelor din podea au primit întâmplător viteze termice îndreptate în aceeaşi direcţie, orientată în sus, toate în acelaşi timp.

— Ceva în genul ăsta s-a întâmplat chiar ieri, interveni Maud. Mai ţii minte, Cyril, când ai pornit cu maşina în marşarier şi lada de gunoi...

— Mă rog, să lăsăm... o întrerupse domnul Tompkins.

— Ce... ce s-a întâmplat? întrebă profesorul.

— Nimic, nimic, răspunse repede domnul Tompkins.

— Mă rog, orice s-ar fi întâmplat cu lada de gunoi, mă îndoiesc că poţi da vina pe Demonul lui Maxwell.

— Demonul lui Maxwell? Ce vreţi să ziceţi?

— Clerk Maxwell. Un mare fizician. A introdus ideea unui demon statistic. Era doar un fel de-a se amuza. L-a folosit ca să explice ceea ce spuneam adineaori. Demonul lui Maxwell se presupune că ar fi un tip foarte isteţ, în stare să urmărească fiecare moleculă în parte şi să-i modifice direcţia de mişcare după bunul său plac. Dacă ar exista într-adevăr un asemenea demon, el ar putea devia mişcarea tuturor moleculelor rapide pentru a le îndrepta într-o direcţie dată, iar pe cele lente în direcţia opusă. În acest fel, el ar putea determina căldura să se scurgă împotriva gradientului de temperatură. Ar putea fi o cale de a contrazice a doua lege a termodinamicii: *principiul creşterii entropiei.*

— Entropie? Asta ce mai e?

— Este termenul folosit pentru a descrie gradul de dezordine al mişcării moleculare din orice corp fizic sau sistem de corpuri. De pildă, dacă toate moleculele de aer s-ar afla sub masa din sufragerie şi nici una în altă parte a camerei, această situaţie ar corespunde unui aranjament foarte ordonat. Când sunt împrăştiate prin toată camera, aranjamentul e foarte dezordonat. Sau hai să considerăm moleculele din podea. Dacă ar vibra toate, la unison, în sus, ar fi foarte multă ordine. Când vibrează în direcţii diferite, e dezordine. Spunem că stările ordonate au entropie scăzută, iar cele dezordonate au entropie mare. Ciocnirile dintre molecule — datorită naturii lor atât de neregulate şi nesistematice — au tendinţa să crească entropia. Astfel, dezordinea absolută este starea cea mai probabilă a oricărui ansamblu statistic.

— Vreţi să spuneţi că, dacă lăsăm lucrurile în voia lor, ele tind să se amestece şi nu să se ordoneze, sugeră domnul Tompkins.

— Da, poţi să spui şi aşa, recunoscu profesorul.

— Numai că lui tati nu-i place cum sună. Vrea să pară totul cât mai ştiinţific, spuse Maud, întinzându-se somnoroasă în şezlongul ei.

Îşi aşeză pălăria pe faţă ca s-o protejeze de soare şi adăugă în şoaptă:

— Nu-l lăsa să te zăpăcească cu jargonul lui. Auzi tu, *entropie*!

— Mulţumesc, draga mea, spuse profesorul îngăduitor. Deci, după cum ziceam, dacă Demonul lui Maxwell ar putea fi pus la treabă, el ar aduce ordine în mişcarea moleculelor, aşa cum un bun câine ciobănesc îşi adună turma. Iar atunci entropia ar scădea. Ar mai trebui să vă spun că, în conformitate cu aşa-numita teoremă H, Ludwig Boltzmann a introdus...

Părând să fi uitat că nu ţinea cursuri unor studenţi avansaţi, profesorul se dezlănţui. Folosind termeni monstruoşi precum „parametri generalizaţi" şi „sisteme cvasi-ergodice", îşi închipuia că face ca legile fundamentale ale termodinamicii şi raportul lor cu forma pe care Gibbs a dat-o mecanicii statistice să devină de o limpezime cristalină. Domnul Tompkins se obişnuise cu stilul socrului de a vorbi fără să-i pese de ceilalţi, aşa încât sorbea din cafea şi încerca să pară cât mai inteligent.

Dar pentru Maud era prea mult. Se chinuia din ce în ce mai tare să-şi ţină ochii deschişi. Îi trecu prin minte că vasele trebuiau spălate. Ca să alunge somnul, se hotărî deci să strângă farfuriile şi să le lase în ordine pentru cei care le vor spăla mai târziu.

— Doamna doreşte ceva? întrebă un majordom înalt, îmbrăcat elegant, înclinându-se atunci când ea intră în bucătărie.

— Nu, continuă-ţi treaba, spuse ea, mirându-se puţin cum de au ajuns ei să aibă un majordom.

Probabil că soţul ei câştigase până la urmă o avere la cursele de cai sau izbutise să breveteze vreun perpetuum mobile. Majordo-

mul era înalt şi subţire, avea un ten măsliniu, nas lung, ascuţit, şi ochi verzi, strălucitori, în care ardea cu intensitate o flacără stranie. Îl privea cum termina de şters vasele, vase pe care îşi dădu seama că le spălase deja. Îi atraseră atenţia două excrescenţe simetrice de pe frunte, parţial ascunse de părul lui negru. Semăna izbitor cu Mefisto.

— Când te-a angajat soţul meu? îl întrebă ea, numai ca să spună ceva.

— Oh, nu m-a angajat, răspunse străinul, împăturind cu atenţie faţa de masă. De fapt, am venit aici de capul meu. Îmi place ca lucrurile să fie curate şi ordonate. Nu suport dezordinea. Am venit să-i arăt distinsului dumneavoastră tată că nu sunt un mit, aşa cum îşi închipuie domnia sa. Când am intrat în bucătărie, am observat starea jalnică în care se afla chiuveta. Evident, n-o spun ca să vă jignesc. Sunt sigur că în cele din urmă ar fi venit cineva s-o cureţe. Numai că eu n-am putut rezista tentaţiei. Pur şi simplu *a trebuit* să aduc puţină ordine. Asta e firea mea — firea mea nefirească. Daţi-mi voie să mă prezint: sunt Demonul lui Maxwell.

— Ah, oftă Maud uşurată. Atunci totul e în regulă; eu mă gândeam că ai putea fi...

— Da, îmi dau seama. Multă lume mă confundă cu el. Dar nu vă temeţi: sunt complet inofensiv... Mă rog, în afara faptului că mă ţin uneori de farse. Farse, nimic mai mult. De fapt, tocmai mă gândeam să-i fac una tatălui dumneavoastră.

— Ce anume...? întrebă Maud, uşor îngrijorată. Nu sunt deloc convinsă că tatăl meu ar gusta...

— Nu vă temeţi. Ne distrăm şi noi un pic. Vreau doar să-i demonstrez că legea creşterii entropiei poate fi încălcată. Şi, ca să vă conving şi pe dumneavoastră, n-aţi vrea să veniţi cu mine?

Fără să mai aştepte răspunsul, o apucă de braţ. În jurul ei, totul devenise straniu. Toate obiectele familiare din bucătărie au început să crească cu o viteză colosală — atât de repede încât ea şi demonul au început să scadă văzând cu ochii. A mai

apucat să arunce o ultimă privire spre spătarul unui scaun care acoperea întreg orizontul, apoi totul s-a liniştit. Zbura acum prin aer, iar însoţitorul ei o ţinea strâns de braţ. Mici sfere ceţoase, de mărimea unei mingi de tenis, adunate perechi-perechi, şuierau în jurul lor. Veneau din toate direcţiile. Maud se temea să nu fie izbită de vreunul din aceste proiectile înspăimântătoare.

— Ce sunt astea?

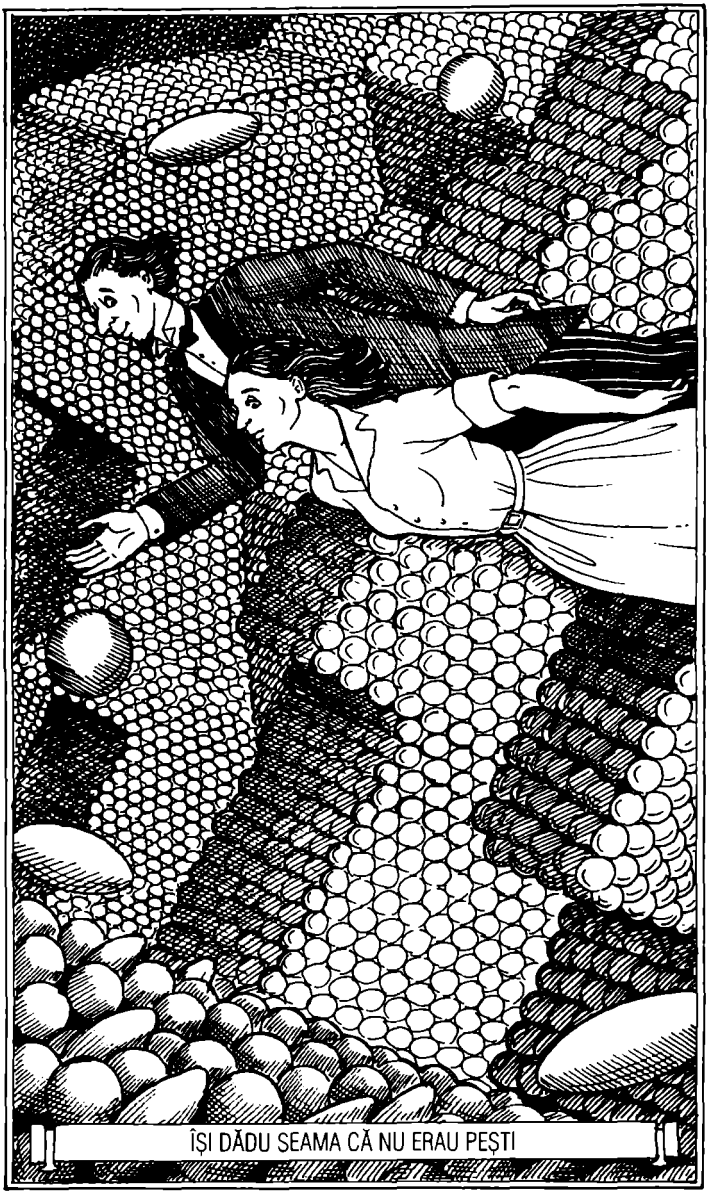
— Molecule de aer, răspunse Demonul lui Maxwell. Ăsta e oxigen. Şi ăsta... Păzea! — o trase cu un gest sigur pentru a evita ciocnirea. Ăsta e azot.

Uitându-se în jos, Maud văzu ceva care semăna cu o barcă de pescuit. Puntea era complet acoperită cu o grămadă fremătătoare de peşti strălucitori. Dar, apropiindu-se, îşi dădu seama că nu erau peşti, ci o masă agitată de bile ceţoase, semănând cu cele care zburau în aer. Demonul a condus-o delicat dar ferm într-un loc mai liniştit. Acum putea vedea cum bilele se mişcau dezordonat, fără nici o regularitate. Unele pluteau la suprafaţă, altele erau absorbite în interior. Din când în când, câte una ajungea la suprafaţă cu o asemenea viteză încât scăpa de atracţia celorlalte şi evada în spaţiu. Alte bile însă zburau prin aer şi se scufundau în „supă", dispărând între miile de bile.

Privind mai atent „supa", Maud descoperi că bilele erau de două tipuri diferite. Dacă cele mai multe arătau ca nişte mingi de tenis, existau altele, mai mari şi alungite, care semănau mai curând cu mingile de rugbi. Toate erau semitransparente şi păreau să aibă o structură internă destul de complicată, pe care Maud n-o putea descifra.

— Unde suntem? întrebă Maud cu voce sugrumată. Ăsta e iadul?

— Nici vorbă, răspunse Demonul. V-am spus: nu sunt cine credeaţi că sunt. Pur şi simplu privim mai îndeaproape o foarte mică porţiune din suprafaţa lichidă a whisky-ului pe care tatăl dumneavoastră are să-l bea după ce va încheia subiectul sistemelor cvasi-egodice. Mingile mai mici şi rotunde sunt moleculele de apă, cele mai mari, alungite, sunt moleculele de



ÎȘI DĂDU SEAMA CĂ NU ERAU PEȘTI

alcool. Dacă vă apucaţi să calculaţi raportul dintre ele, puteţi vedea cât de tare e băutura pe care i-a turnat-o soţul dumneavoastră.

Chiar atunci Maud zări o pereche de balene jucându-se în apă.

— Balene atomice? întrebă arătând spre ele.

Demonul privi în direcţia indicată.

— Nu, nu, râse el. E orz. Fragmente foarte fine de orz prăjit — ingredientul care dă whisky-ului aroma şi culoarea. Fiecare fragment e alcătuit din milioane şi milioane de molecule organice complexe; de asta sunt aşa mari şi grele, în comparaţie cu moleculele individuale. Iată un lucru foarte interesant: observaţi cum saltă încolo şi-ncoace. Vedeţi?

— Da. De ce fac aşa?

— Pentru că sunt izbite de moleculele din jur. Moleculele îşi iau energia din mişcarea termică şi lovesc bucăţica de orz. Un impact molecular n-are prea mare efect. Dar în orice moment pot avea loc, din pură întâmplare, mai multe ciocniri pe o parte decât pe cealaltă, astfel încât impacturile se însumează şi fac ca orzul să fie împins în acea direcţie — doar pentru moment. Apoi va fi împins în altă direcţie, şi aşa mai departe. De aceea dansează aşa. De fapt, în felul ăsta oamenii de ştiinţă au avut prima demonstraţie directă în sprijinul teoriei cinetice a căldurii — conform căreia materia e alcătuită din molecule aflate în mişcare. Moleculele sunt prea mici pentru a fi văzute la microscop, dar particulele de dimensiuni intermediare, cum ar fi acel fragment de orz, pot fi văzute. Mai mult, îl poţi vedea cum efectuează dansul acesta săltăreţ numit *mişcare browniană*. Astfel, măsurând lungimea zigzagurilor din traiectoria sa şi aplicând analiza statistică, fizicienii pot obţine informaţii despre energia mişcării moleculare — fără a fi nevoiţi să urmărească moleculele individuale. Isteţ, nu-i aşa?

Demonul a adus-o chiar lângă suprafaţa lichidului. Acum putea zări un bloc mare şi transparent alcătuit din molecule per-

fect îmbinate laolaltă, ca nişte cărămizi. Pereţii lui drepţi, netezi ieşeau din marea de whisky.

— Impresionant! Arată ca un bloc de birouri construit din sticlă, exclamă Maud.

— Nu sticlă. Gheaţă, o corectă Demonul. E o parte dintr-un cristal de gheaţă, unul din cuburile aflate în paharul tatălui dumneavoastră. Acum, vă rog să mă aşteptaţi aici o clipă — spuse el aşezând-o pe un colţ al cristalului de gheaţă, aşa încât semăna cu un alpinist cocoţat pe o stâncă. Am de lucru.

Înarmat cu un instrument în genul unei rachete de tenis, a plonjat în marea de whisky. În timp ce înota, izbea moleculele din jurul lui. Deplasându-se încolo şi încoace, devia traiectoriile unor molecule într-o direcţie, iar pe ale altora în altă direcţie. La început, Maud n-a înţeles de ce făcea asta. Apoi, strategia lui a devenit limpede. Moleculele care se mişcau cu viteză mare erau îndreptate spre o parte a paharului, cele lente spre partea opusă. Maud nu putea să nu-i admire viteza şi dexteritatea. Ce gândire rapidă! Câtă îndemânare! Campionii de tenis de la Wimbledon ar fi avut multe de învăţat.

În câteva minute, rezultatul muncii Demonului a devenit vizibil. Jumătate din suprafaţa lichidului era acum acoperită de molecule lente, liniştite, în vreme ce jumătatea cealaltă devenea tot mai agitată. Numărul moleculelor care ieşeau prin suprafaţă în procesul de evaporare creştea rapid. Evadau acum cu miile deodată, formând bule gigantice. Erau atât de multe, încât Maud abia mai zărea din când în când racheta sau coada fracului Demonului printre nenumăratele molecule în mişcare nebună.

Brusc Demonul veni lângă ea.

— Haideţi, repede! spuse el. Trebuie să plecăm de-aici înainte să ne opărim.

A apucat-o de braţ şi a tras-o în sus. Plutea acum deasupra grădinii şi privea în jos, spre tatăl şi spre soţul ei. Tatăl sări imediat în picioare.

— Doamne, Dumnezeule! exclamă el privind uluit paharul de whisky. Fierbe!

Whisky-ul fierbe!

Într-adevăr, whisky-ul din pahar era acoperit cu bule care explodau violent, iar un nor gros de aburi se ridica în aer.

— Priveşte! strigă el îngrozit. Tocmai ţi-am vorbit despre fluctuaţiile statistice în legea entropiei şi uite că avem chiar acum una în faţa ochilor! Printr-o şansă incredibilă, poate pentru prima dată de când a apărut Pământul, moleculele rapide s-au grupat împreună accidental într-o parte a suprafeţei, iar apa a început să fiarbă de la sine! Vor mai trece miliarde de ani şi noi vom rămâne probabil singurii oameni care au avut şansa să asiste la acest fenomen extraordinar! Ce noroc pe capul nostru!

Pe când Maud continua să-i privească de sus, a început să fie învăluită de norul aburilor ce se înălţau din pahar. În scurt timp nu mai putea vedea nimic. Era tot mai cald şi mai înăbuşitor. Respira cu mare greutate. Gâfâia şi se zbătea.

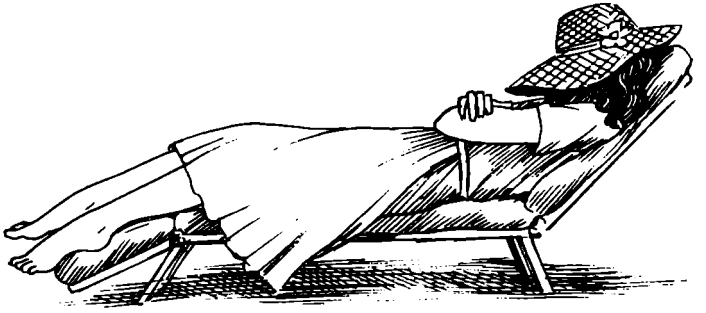
— Nu ţi-e bine, draga mea? întrebă domnul Tompkins prinzând-o delicat de braţ. Parcă te-ai sufoca.

Ea şi-a adunat forţele şi a dat la o parte pălăria. Soarele aflat la asfinţit o făcu să clipească.

— Mă scuzaţi, murmură ea. Cred că am aţipit.

Cum stătea în şezlong îşi aminti de o prietenă care îi spusese că, după un timp, soţii încep să semene între ei. Nu-i prea surâdea ideea că are cam aceleaşi vise ca soţul ei.

— M-am gândit, spuse ea zâmbind cu nostalgie, că ar fi bine să îmblânzim un Demon al lui Maxwell ca să ne facă ordine prin casă.



11 Tribul vesel al electronilor

Câteva zile mai târziu, în timp ce-şi isprăvea cina, domnul Tompkins îşi aduse aminte că era chiar seara în care profesorul ţinea lecţia despre structura atomului. Îi promisese că va asista, dar era tare obosit. La întoarcerea de la serviciu, trenul întârziase din cauza unei defecţiuni. Aşteptase mai bine de o jumătate de oră între staţii. Fiind foarte cald, aerul din vagon devenise irespirabil şi ajunsese acasă extenuat. S-a gândit să nu se mai ducă la conferinţă. Spera ca socrul lui să nu bage de seamă că lipsea. Dar tocmai când deschidea ziarul ca să vadă ce e la televizor, Maud îi zădărnici planurile uitându-se la ceas şi remarcând, blând dar ferm, că era timpul să plece.

Aşa se face că se găsea din nou în banca din amfiteatrul universităţii, alături de grupul obişnuit de studenţi. Profesorul a început...

Doamnelor şi domnilor,

Ultima dată am promis să vă dau câteva detalii despre structura internă a atomului, şi despre felul în care aceste caracteristici explică proprietăţile lui fizice şi chimice. Ştiţi, desigur, că atomii nu mai sunt consideraţi constituenţii elementari, indivizibili ai materiei. Acest rol a fost preluat acum de particule mult mai mici, cum ar fi de pildă electronii.

Ideea de particule elementare ce alcătuiesc materia, reprezentând ultimul pas posibil în divizarea corpurilor materiale, apare încă din Antichitate, la filozoful grec Democrit. El a trăit în secolul al IV-lea î. Cr. Şezând într-o zi pe nişte trepte, a ob-

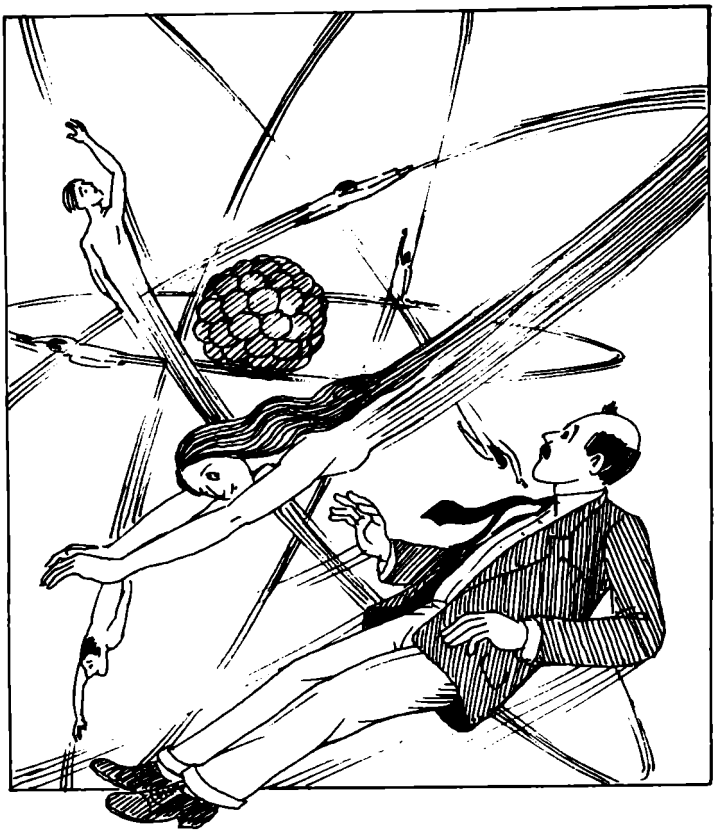
servat că erau uzate. S-a întrebat care era cea mai mică particulă îndepărtată prin uzură. Putea fi ea infinit de mică? Pe atunci oamenii încercau să rezolve problemele doar prin cugetare pură. În orice caz, la acea vreme problema se afla dincolo de orice abordare experimentală posibilă. Prin urmare, Democrit trebuia să găsească răspunsul corect în adâncurile propriei sale minţi. Pe baza unor consideraţii filozofice încâlcite, a ajuns în cele din urmă la concluzia că este „de neconceput" ca materia să se dividă în părţi din ce în ce mai mici, la nesfârşit. Prin urmare, trebuie să presupunem existenţa „celei mai mici particule care nu se mai poate diviza". A numit aceste particule „atomi". Acest cuvânt înseamnă în greacă „indivizibili".

Trebuie să menţionez că, în afara lui Democrit şi a adepţilor lui, exista şi o altă şcoală în filozofia greacă ce susţinea că procesul de divizare a materiei *poate* continua fără limite. La acea epocă, şi în secolele următoare, existenţa porţiunilor indivizibile de materie rămânea o pură ipoteză filozofică.

Abia în secolul al XIX-lea oamenii de ştiinţă au stabilit că găsiseră în fine cărămida indivizibilă a materiei despre care vorbiseră vechii greci cu mai bine de două mii de ani în urmă. În 1808 un chimist englez, John Dalton, a arătat că proporţiile relative...

De la începutul lecţiei, domnul Tompkins a ştiut că făcuse o greşeală venind aici. Nevoia de a-şi odihni ochii, care-l urmărea de fiecare dată când asculta prelegeri, era în acea seară irezistibilă. Mai mult, alesese să stea la capătul rândului, unde se putea sprijini de peretele sălii. Pe jumătate aţipit, pe jumătate treaz, restul lecţiei a devenit ceţos.

Vocea profesorului era un sunet de fond, iar domnul Tompkins avu senzaţia plăcută că pluteşte prin aer. Când a deschis ochii a fost surprins să se vadă azvârlit în spaţiu cu o viteză înspăimântătoare. Privind în jur, şi-a dat seama că nu era singur în această călătorie fantastică. Lângă el, câteva forme vagi, ceţoase, zburau în jurul unui obiect sferic mare şi greu. Aceste fiinţe stranii călătoreau în perechi, urmărindu-se voios unele pe altele de-a



Păreau să danseze un vals vienez

lungul unor traiectorii circulare şi eliptice. Se învârteau în jurul obiectului central, iar fiecare dintre ele se răsucea ca un titirez; unul dintre membrii fiecărei perechi se răsucea într-un sens, iar partenerul său în sensul opus. Domnului Tompkins i se părea că dansează cu toţii un vals vienez. Nu prea se simţea în largul lui. Era singurul din grup care nu avea partener.

— De ce n-oi fi luat-o pe Maud cu mine? se întrebă el cu tristeţe. Ne-am fi distrat pe cinste la balul ăsta!

Drumul pe care se mişca el era diferit de al celorlalţi. Şi-ar fi dorit foarte tare să se alăture petrecerii, dar părea supus unei influenţe ciudate care îl împiedica să se apropie. Senzaţia neplăcută că e un intrus deveni şi mai intensă.

Chiar atunci, unul dintre electroni (căci domnul Tompkins înţelesese în chip miraculos că se alăturase comunităţii electronilor dintr-un atom) trecu prin apropiere. Hotărî să i se plângă.

— Fiţi amabil, vă rog, aţi putea să-mi spuneţi de ce toţi au partener şi numai eu n-am? strigă domnul Tompkins.

— De ce? Fiindcă e un atom impar. Sunteţi electronul de vale-e-enţă..., răspunse electronul şi se întoarse la grupul dansatorilor.

— Electronii de valenţă trăiesc singuri sau îşi găsesc parteneri în alţi atomi, spuse cu voce piţigăiată un alt electron trecând pe lângă el. Sunteţi chiar atât de ignorant?

— Dacă vrei o parteneră drăguţă, aruncă-te în clor şi găseşte-ţi una, chicoti batjocoritor altul.

— Văd că eşti nou pe aici, fiule, îi spuse o voce prietenoasă de deasupra lui.

Privind în sus, domnul Tompkins văzu silueta corpolentă a unui călugăr îmbrăcat într-o rasă monahală de culoare închisă.

— Sunt părintele Pauli, continuă călugărul mişcându-se de-a lungul traiectoriei domnului Tompkins. Misiunea mea este să veghez asupra moralei şi vieţii sociale a electronilor în atomi şi pretutindeni. E de datoria mea să distribui aşa cum se cuvine electronii ăştia jucăuşi în diferitele celule cuantice ale superbelor structuri atomice înălţate de marele nostru arhitect Niels Bohr. Ca să menţin ordinea (şi să păstrez decenţa) nu permit niciodată ca mai mult de doi electroni să urmeze acelaşi drum. Un *ménage à trois* aduce întotdeauna necazuri, nu crezi? Observă, te rog, că fiecare electron are ca pereche pe unul de „spin" opus, o unire a contrariilor, dacă vrei. Nimeni n-are voie să intre într-o celulă ocupată deja de un cuplu. E o regulă bună şi trebuie să-ţi spun că nu a fost încălcată niciodată. Electronii înţeleg că aşa trebuie.

— O fi o regulă bună, protestă domnul Tompkins, dar deocamdată nu-mi prea convine.

— Îmi dau seama, zâmbi călugărul. Ghinionul tău că eşti un electron de valenţă într-un atom de sodiu. E un atom impar. Sarcina electrică a nucleului său (masa aceea sferică şi întunecată din centru) este suficientă ca să ţină laolaltă unsprezece electroni. Iar unsprezece e un număr impar. Jumătate din numere sunt impare, aşa că nu-i nimic ieşit din comun. N-are rost să te plângi că ai apărut mai târziu şi eşti ultimul care s-a ataşat unui atom impar. Trebuie să mai aştepţi un pic.

— Vreţi să spuneţi că am o şansă să intru mai târziu? întrebă imediat domnul Tompkins. Să-i trag un şut unuia mai vechi?

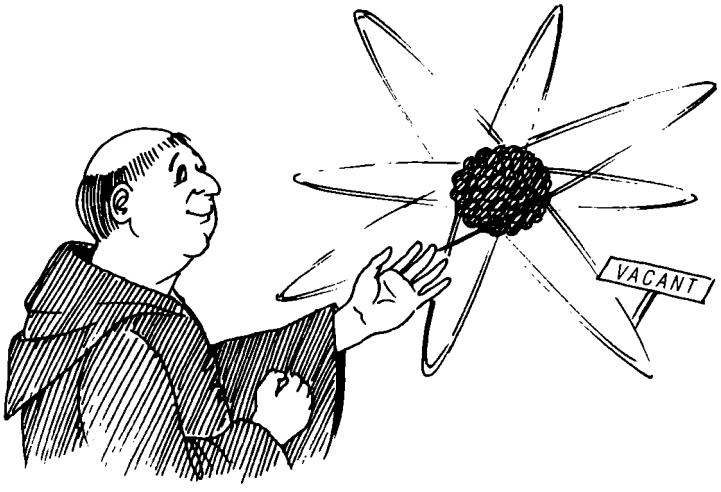
— Doamne fereşte! îl mustră călugărul, ameninţându-l cu degetul. Nu aşa se poartă lumea pe la noi. Trebuie să înveţi să ai răbdare. Există mereu posibilitatea ca unii dintre cei din interior să fie daţi afară din cauza unor perturbaţii externe şi s-ar putea elibera un loc. Dar eu nu m-aş baza pe asta.

— Ei mi-au zis că ar fi mai bine să mă mut în clor, spuse domnul Tompkins, descurajat de cuvintele părintelui Pauli. Puteţi să-mi spuneţi cum s-o fac?

— Tinere, tinere! rosti cu tristeţe călugărul. De ce ţii cu tot dinadinsul să-ţi găseşti o parteneră? De ce nu te bucuri de singurătate şi de prilejul ăsta pe care Cerul ţi l-a trimis ca să-ţi contempli sufletul în pace? De ce voi electronii trebuie mereu să priviţi spre viaţa lumească? Dar, dacă insişti atâta să ai o parteneră, am să te ajut să-ţi împlineşti dorinţa.

Privi de jur-împrejur cu atenţie. După un timp, se lumină la faţă.

— Ah! exclamă el, arătând cu mâna. Uite acolo! Un atom de clor se apropie de noi. Priveşte! Chiar şi de la distanţa asta poţi vedea un loc liber unde cu siguranţă vei fi bine-venit. Locul liber este în grupul extern de electroni, aşa-numita „pătură-M", care ar trebui să fie alcătuită din opt electroni grupaţi în patru perechi. Dar, aşa cum vezi, sunt patru electroni care se învârt



Un loc vacant în atomul de clor

într-o direcţie şi doar trei în direcţia cealaltă, cu un loc vacant. Păturile interioare („K" şi „L") sunt ocupate. Da, atomul va fi bucuros să te primească şi să aibă şi pătura externă completă.

Călugărul începu să-şi fluture braţul pentru a atrage atenţia atomului de clor, cam în felul în care chemi un taxi.

— Când se apropie, nu trebuie decât să sari, îl sfătui el pe domnul Tompkins. Aşa fac de obicei electronii de valenţă. Pacea fie cu tine, fiule.

Cu aceste cuvinte, preotul electronilor dispăru brusc în aer.

Înseninat, domnul Tompkins îşi adună forţele pentru un salt mortal în orbita atomului de clor care trecea prin preajmă. Spre surpriza lui, sări uşor şi graţios şi se trezi înconjurat prietenește de membrii păturii M a clorului, care îl primiră cu braţele deschise. Imediat, o superbă electroniţă de spin opus se apropie timidă de el.

— Bine ai venit în mijlocul nostru, îi şopti ea. Fii partenerul meu şi hai să ne distrăm.

Alunecau împreună cu graţie de-a lungul traiectoriei, iar domnul Tompkins simţea că într-adevăr se distrează, ba chiar

foarte bine. Totuşi o mică grijă îi stăruia în minte. „Cum o să-i explic eu lui Maud când am s-o văd?", se gândea el puţin vinovat. Dar nu dură mult. „Sunt sigur că n-o să se supere, hotărî el. La urma urmei, nu-s decât electroni."

— De ce nu se îndepărtează odată atomul ăla pe care l-ai părăsit? îl întrebă cam bosumflată partenera lui. Sper că nu se aşteaptă să te întorci!

Într-adevăr, atomul de sodiu, fără electronul de valenţă, era aproape lipit de atomul de clor.

— Ca să vezi! spuse furios domnul Tompkins, încruntându-se spre atomul care se purtase atât de neprietenos cu el.

— Aşa se întâmplă întotdeauna, spuse un membru mai experimentat al păturii M. Nu atât electronii vor să te întorci, cât nucleul de sodiu. Mai mereu apar neînţelegeri între nucleul central şi escorta sa electronică. Nucleul vrea atâţia electroni în jur câţi poate păstra sarcina lui electrică, în timp ce electronii preferă să fie exact atâţia câţi să completeze păturile. Există doar câteva specii de atomi — aşa-numitele *gaze rare*, sau *gaze nobile*, după cum le spun chimiştii germani — la care dorinţa nucleului conducător şi cea a electronilor din subordine sunt în deplină armonie. Numărul electronilor pe care îi poate păstra nucleul este egal cu numărul necesar pentru a avea păturile complete. Atomi ca aceia ai heliului, neonului sau argonului, de exemplu, sunt incredibil de înfumuraţi şi mulţumiţi de sine. Ei n-au nevoie nici să-i expulzeze pe electronii nedoriţi, nici să invite pe alţii pentru a umple locuri goale. Aşa se face că îşi sunt lor înşişi de ajuns; sunt inerţi chimic. În alţi atomi însă — continuă electronul atotcunoscător —, comunităţile de electroni sunt mereu gata să-şi schimbe apartenenţa. În atomul de sodiu, fostul tău cămin, sarcina electrică din nucleu e suficientă pentru a păstra un electron în plus faţă de cât e nevoie pentru armonia păturilor. Pe de altă parte, în atomul nostru, contingentul normal de electroni nu e suficient pentru o armonie desăvârşită. De asta te-am primit cu braţele deschise, deşi prezenţa ta supraîncarcă nucleul. Atâta vreme cât stai aici, atomul nostru nu mai este neutru din punct de vedere electric; are sarcina ta

electrică suplimentară negativă. Atomului de sodiu pe care l-ai părăsit îi lipseşte acum un electron, aşa că are o sarcină electrică pozitivă. De asta continuă să stea pe-aproape; e menţinut de forţa electrică de atracţie dintre sarcina lui pozitivă şi sarcina noastră negativă. L-am auzit odată pe marele nostru preot, părintele Pauli, spunând că asemenea comunităţi atomice, cu electroni suplimentari sau cu electroni lipsă, se numesc „ioni" negativi sau pozitivi. A folosit de asemenea şi cuvântul „moleculă" pentru grupuri de doi sau mai mulţi atomi legaţi împreună prin aceste forţe electrice. Combinaţia aceasta particulară din atomi de sodiu şi clor se numeşte moleculă de „sare de bucătărie", dar habar n-am ce înseamnă.

— Vrei să spui că nu ştii ce e sarea de bucătărie? se miră domnul Tompkins, uitând cu cine vorbeşte. Este ce pui pe omletă la micul dejun.

— Ce-i aia „ometă" şi ce-i ăla „mic-nu-ştiu-ce"? întrebă electronul.

Domnul Tompkins era în mare încurcătură, nu prea ştia ce să mai zică. Şi-a dat seama că nu avea rost să le explice tovarăşilor lui chiar şi cele mai simple detalii ale vieţii oamenilor. Din fericire, electronul bine informat nu dorea să ştie mai multe despre viaţa oamenilor, fiind prea ocupat să-şi etaleze cunoştinţele despre lumea electronilor.

— Nu trebuie să-ţi închipui, continuă el, că legarea atomilor în molecule se face mereu printr-un singur electron de valenţă. Există atomi, cum ar fi de pildă oxigenul, care au nevoie de doi electroni suplimentari pentru a-şi completa pătura, nu doar de unul, ca în cazul clorului. Mai există şi atomi care au nevoie de trei electroni, ba chiar şi mai mulţi. Pe de altă parte, în unii atomi nucleul menţine doi sau mai mulţi electroni suplimentari, sau de valenţă. Când se întâlnesc asemenea atomi, sunt de făcut multe salturi şi legături. Rezultă de aici molecule mai complicate, alcătuite uneori chiar şi din mii de atomi. Există de asemenea şi aşa-numitele molecule „homopolare", adică molecule formate din doi atomi identici, dar asta e o situaţie tare neplăcută.

— De ce neplăcută? întrebă domnul Tompkins.

— Prea multă muncă, răspunse electronul. E tare greu să-i ţii împreună. Cu ceva vreme în urmă am avut şi eu slujba asta. N-am avut o clipă de linişte. Nu se compară cu ce e aici, unde electronul de valenţă se distrează fără să-i pese de nimic, în timp ce atomul părăsit stă prin preajmă. Nu, domnule! Ca să ţii doi atomi identici împreună trebuie să ţopăi înainte şi înapoi, de la unul la altul. Tot timpul trebuie să ţopăi înainte şi înapoi. Parc-ai fi o minge de ping-pong.

Domnul Tompkins era foarte surprins să afle că electronul, care nu ştia ce-i aia omletă, vorbeşte despre ping-pong ca şi cum ar fi un cunoscător, dar preferă să nu intervină.

— N-o să mai iau niciodată slujba asta! declară electronul. Mă simt foarte bine aici...

Se opri în clipa în care ceva nou îi atrase atenţia.

— Hei! Ai văzut? Aha! Un loc şi mai bun! La revedereee!

Domnul Tompkins privi uluit cum electronul face un salt şi coboară în picaj spre interiorul atomului. Se pare că unul dintre electronii din interior fusese aruncat în afară de un electron străin care pătrunsese pe neaşteptate cu mare viteză în sistemul lor. Un loc confortabil în pătura K era acum larg deschis. Dojenindu-se că a pierdut şansa de a se aşeza în interior, domnul Tompkins privea acum cu mare interes traseul electronului cu care tocmai vorbise. Norocosul electron gonea din ce în ce mai adânc spre interiorul atomului, iar zborul său triumfal era însoţit de raze luminoase strălucitoare. Abia când a ajuns în cele din urmă pe orbita sa, radiaţia a încetat.

— Ce-a fost asta? întrebă domnul Tompkins, pe care începeau să-l doară ochii. Lumina asta. Ce-i cu ea?

— Nu-i decât emisia de raze X, îi explică partenera sa de orbită. Apare atunci când are loc o tranziţie. Ori de câte ori unul dintre noi reuşeşte să ajungă mai adânc în interiorul atomului, surplusul de energie trebuie emis sub formă de radiaţie. Norocosul a făcut un salt mare. A eliberat multă energie. În general, trebuie să ne mulţumim cu salturi mai mici, aici, în

suburbiile atomului, iar atunci radiaţia noastră e numită „lumină vizibilă", cel puţin aşa îi zice părintele Pauli.

— Dar şi razele astea X au fost vizibile, protestă domnul Tompkins. Le-am *văzut*. De ce nu se numesc şi ele „vizibile"?

— Noi suntem electroni. Suntem sensibili la *orice* fel de radiaţii. Dar părintele Pauli ne-a spus că există nişte creaturi gigantice, numite de el „Fiinţe Umane", care pot vedea numai lumina cuprinsă într-un interval îngust de lungimi de undă. Ne-a mai spus şi că până să apară o fiinţă umană numită Roentgen, ei nici nu ştiau că există asemenea raze X. Fiinţele astea nu mi se par prea inteligente. Acum, când în sfârşit le-au descoperit, înţeleg că le folosesc din plin la ceva care se cheamă „medicină".

— Da, ştiu destule despre asta, zise domnul Tompkins. Medicina e cea prin care încercăm să... Vreau să spun cea prin care *fiinţele umane* încearcă să-i ajute pe cei...

Electroniţa căscă fără jenă.

— N-are rost. De fapt, nu-mi pasă. Hai să dansăm.

Îl luă de mână şi începură să se învârtă de-a lungul traiectoriei lor. Domnul Tompkins se bucura de plăcuta senzaţie de plutire prin spaţiu împreună cu ceilalţi electroni, într-un număr colosal la trapez. Apoi, brusc, a simţit că i se ridică părul în cap, experienţă pe care o mai trăise cu ocazia unei furtuni cu fulgere şi trăsnete în munţi. Era clar că o perturbaţie electrică puternică se apropia de atom, distrugând armonia mişcării electronilor şi obligându-i să devieze mult de la traseul lor normal. Abia mai târziu a aflat că nu fusese decât o undă de lumină ultravioletă care trecuse prin apropierea atomului, dar pentru micuţii electroni era o furtună electrică teribilă.

„Ţine-te bine!" îi strigă cineva, „dacă nu vrei să fii aruncat afară de forţele efectului fotoelectric!" Dar era prea târziu. Domnul Tompkins fusese smuls dintre tovarăşii săi şi azvârlit în spaţiu cu o viteză înspăimântătoare. Era ca şi cum ar fi fost extras din atom cu penseta. Zbura mai departe prin spaţiu, trecând pe lângă tot felul de atomi, atât de repede încât cu greu putea distinge electronii separaţi. Deodată, un atom mare a apărut drept în faţa lui şi a înţeles că ciocnirea era inevitabilă.

— Îmi cer scuze, mă aflu sub influenţa efectului fotoelectric şi nu pot să... începu domnul Tompkins politicos, dar restul frazei s-a topit în zgomotul ciocnirii cu unul dintre electronii externi. Amândoi s-au răsturnat. Domnul Tompkins şi-a pierdut în ciocnire cea mai mare parte din viteză şi s-a trezit prizonier într-un nou peisaj.

După ce şi-a mai revenit, a început să cerceteze împrejurimile. Se găsea înconjurat din toate părţile de atomi. Erau mult mai mari decât toţi atomii pe care-i văzuse până atunci. A numărat 29 de electroni în fiecare din ei. Dacă ar fi ştiut ceva mai multă fizică, şi-ar fi dat seama că sunt atomi de cupru, dar, privit de aproape, grupul în întregul lui nu semăna deloc cu cuprul. A observat că stăteau la distanţe destul de mici unul de altul şi erau aranjaţi într-o structură regulată ce se întindea cât vedea cu ochii.

Ce l-a surprins însă cel mai tare pe domnul Tompkins a fost că aceşti atomi nu păreau preocupaţi să-şi ţină aproape partea lor de electroni, mai ales electronii externi. De fapt orbitele externe erau aproape goale şi numeroşi electroni neataşaţi se răspândeau leneş în jur, oprindu-se din când în când, dar niciodată pentru mult timp, pe lângă unul sau altul dintre atomi. Îi aminteau de găştile de tineri care se adună pe la colţuri şi hoinăresc fără ţintă pe stradă la căderea serii.

Obosit după zborul riscant prin spaţiu, domnul Tompkins a încercat mai întâi să se odihnească puţin pe o orbită stabilă a unuia dintre atomii de cupru. S-a molipsit însă repede de tendinţa mulţimii din jur de a hoinări şi s-a alăturat celorlalţi electroni în mişcarea lor către nicăieri.

„Lucrurile nu par prea bine organizate pe aici", îşi spuse el. „Sunt prea mulţi electroni care nu-şi fac treaba şi duc o viaţă fără rost. Mă întreb dacă părintele Pauli ştie."

— Bineînţeles că ştiu, răsună glasul cunoscut al călugărului.

Se materializase brusc venind de nicăieri.

— Nu-i nimic grav. Aceşti electroni nu încalcă nici o regulă. De fapt, ei fac o treabă foarte folositoare. Dacă toţi atomii ar fi

atât de preocupaţi să-şi păstreze electronii cum se întâmplă cu unii dintre ei, n-ar mai exista conductivitate electrică. Nici dispozitive electrice, nici lumină electrică, nici calculatoare, televizoare sau aparate de radio.

— Vreţi să spuneţi că aceşti electroni, aceşti electroni *vagabonzi*, sunt răspunzători pentru curentul electric? întrebă domnul Tompkins. Nu-mi dau seama cum. Nu par să se mişte într-o direcţie anume.

— Aşteaptă şi ai să vezi, spuse călugărul. Nu-i nevoie decât ca cineva să apese pe întrerupător. Şi, fiindcă tot veni vorba, nu ştiu de ce foloseşti cuvântul „ei", când ar trebui să zici „noi". Am impresia că ai uitat că şi tu eşti un electron de conducţie.

— Să vă spun drept, m-am cam plictisit să fiu electron. La început a fost amuzant, dar noutatea a dispărut repede. Am ajuns la concluzia că nu sunt făcut să urmez regulile astea şi să fiu pe veci izbit.

— Nu neapărat pe veci, spuse părintele Pauli uşor nemulţumit; era limpede că nu se aştepta la o asemenea obrăznicie din partea unui simplu electron. Există întotdeauna o şansă să fii anihilat.

— Anihilat!? exclamă domnul Tompkins speriat. Eu credeam că electronii sunt eterni.

— Asta credeau şi fizicienii pe vremuri, dar acum s-au lămurit. Electronii se nasc şi mor la fel ca oamenii. Numai că, bineînţeles, nu mor de bătrâneţe. Moartea vine *brusc*, neanunţată, prin ciocniri.

Călugărul zâmbi văzând cât îl tulburaseră pe domnul Tompkins cuvintele sale.

— Chiar adineaori m-am ciocnit. A fost destul de rău, spuse domnul Tompkins, căpătând puţin curaj. Dar asta nu m-a distrus. Nu cumva exageraţi un pic?

— Nu contează cât de *puternic* te ciocneşti, îl corectă părintele Pauli. Problema e *cu cine* te ciocneşti. Dacă nu mă înşel, ciocnirea ta recentă a fost tot cu un electron negativ, unul foarte asemănător cu tine. Nu există nici cel mai mic pericol într-o asemenea întâlnire. V-aţi putea izbi unii de alţii ca berbecii

ani de-a rândul fără să se întâmple nimic. Dar mai există şi o altă rasă de electroni: cei încărcaţi pozitiv. De ăştia trebuie să te fereşti. Electronii pozitivi, sau *pozitronii*, arată exact ca tine. Dacă-l vezi pe unul care se apropie, îţi închipui că nu-i decât vreun alt membru inofensiv al tribului tău. Aşa că îl întâmpini cu braţele deschise. Apoi însă descoperi că, în loc ca sarcinile voastre negative să vă îndepărteze încet unul de altul pentru a evita să vă ciocniţi îndeaproape, sarcina lui pozitivă atrage sarcina ta negativă şi te împinge spre el. E prea târziu să mai faci ceva.

— De ce? Ce se întâmplă pe urmă? întrebă domnul Tompkins.

— Eşti mâncat. Distrus.

— Oh! Dar câţi bieţi electroni obişnuiţi poate mânca un pozitron?

— Din fericire, unul singur. Distrugând electronul negativ, pozitronul e distrus la rândul lui. Ai putea spune că e cuprins de un fel de dorinţă de moarte, îşi caută mereu un partener cu care să facă un pact sinucigaş. Pozitronii nu se atacă unii pe alţii, dar imediat ce un electron negativ le iese în cale nu prea mai sunt şanse de supravieţuire.

— Am avut mare noroc că n-am dat până acum peste un monstru dintr-ăsta, spuse domnul Tompkins temător. Sper că nu sunt foarte numeroşi. Sau sunt?

— Nu. Nu fac prea mulţi purici pe-aici. Caută mereu pricină şi din cauza asta mor destul de repede după ce se nasc. Dacă aştepţi un pic, am să încerc să-ţi arăt unul.

Părintele Pauli privi în jur vreme de câteva minute.

— Uite! exclamă el arătând spre un nucleu greu aflat la mare distanţă. Vezi? S-a născut un pozitron.

Atomul spre care arăta călugărul suferise evident o puternică perturbaţie electromagnetică provocată de o radiaţie violentă venită din exterior. Era o perturbaţie mult mai serioasă decât cea care îl azvârlise pe domnul Tompkins din atomul de clor. Familia de electroni a atomului s-a împrăştiat ca frunzele uscate în timpul unui uragan.

— Priveşte mai îndeaproape nucleul.

Concentrându-şi atenţia, domnul Tompkins văzu ceva cu totul ieşit din comun. Aproape de nucleu, în pătura electronică internă, două umbre vagi începeau să capete contur. Peste o clipă văzu doi electroni strălucitori plecând în mare viteză de la locul naşterii lor.

— Dar văd doi, spuse domnul Tompkins intrigat.

— Adevărat. Electronii se nasc întotdeauna perechi. Sunt încărcaţi electric, aşa încât trebuie să fie produşi simultan doi — unul cu sarcină electrică negativă, celălalt cu sarcină pozitivă —, altfel ar intra în contradicţie cu legea conservării sarcinii electrice. Cum vezi, acţiunea acelei puternice radiaţii gama asupra nucleului a produs un electron obişnuit şi un pozitron.

— Păi asta nu-i chiar atât de rău. Dacă naşterea fiecărui pozitron e însoţită de apariţia unui electron negativ suplimentar înseamnă că, atunci când un pozitron distruge mai târziu un electron, ne întoarcem de unde am pornit în ce priveşte numărul total de electroni. Prin urmare nu duce la dispariţia tribului electronilor, iar eu...

— Dacă aş fi în locul tău, m-aş feri de pozitronul acela, îl întrerupse călugărul.

— Care dintre ei e pozitronul? întrebă domnul Tompkins. Arată amândoi la fel ca mine.

— Nu-mi dau seama. Dar unul dintre ei vine spre noi.

Îl îmbrânci cu putere pe domnul Tompkins din calea particulei nou-născute. Nici nu s-a îndepărtat bine de ei că s-a şi ciocnit de un alt electron. S-au văzut două fulgere orbitoare, apoi nimic!

— Ei bine, cred că ai găsit răspunsul la întrebarea ta, zâmbi călugărul.

Uşurarea domnului Tompkins că scăpase de pozitronul ucigaş n-a ţinut mult. Până să-i mulţumească părintelui Pauli pentru prezenţa sa de spirit, se simţi la rândul lui atras. El şi toţi ceilalţi electroni hoinari fuseseră puşi la treabă şi împinşi în aceeaşi direcţie.

— Hei! Ce se mai întâmplă acum?! strigă el.

— Probabil că cineva a aprins lumina. Te îndrepţi spre filamentul unui bec. La revedere. Mi-a făcut plăcere să stăm de vorbă, spuse călugărul, dispărând repede în zare.

La început călătoria a fost plăcută, fără să ceară vreun efort — ca atunci când eşti transportat de banda rulantă dintr-un aeroport. Domnul Tompkins şi ceilalţi electroni liberi pluteau uşor prin reţeaua atomilor. Încercă să intre în vorbă cu o electroniţă din apropiere.

— Relaxant, nu-i aşa? remarcă el.

Electroniţa îi aruncă o privire ameninţătoare.

— Hmmm! Se vede treaba că eşti nou pe circuitul ăsta. Aşteaptă numai să vezi cum e când ajungem în vâltoare.

Domnul Tompkins nu ştia ce înseamnă, dar nu-i plăcea cum sună. Brusc, canalul prin care treceau s-a îngustat. Electronii se ciocneau şi erau înghesuiţi unul într-altul. Se făcea tot mai cald, lumina devenea tot mai intensă.

— Ai grijă! îi spuse tovarăşa de drum, în timp ce îl izbea din lateral.

Când domnul Tompkins s-a trezit a văzut că femeia de lângă el, din amfiteatru, aţipise la rândul ei şi se sprijinea de el lipindu-l de perete.

11½ Restul lecției precedente, când domnul Tompkins a ațipit

...De fapt, în anul 1808, chimistul englez John Dalton a arătat că proporția relativă a elementelor chimice necesare pentru a forma un compus chimic complicat este întotdeauna un raport de numere întregi. El a interpretat această regulă drept un indiciu al faptului că toți compușii chimici sunt alcătuiți din elemente chimice simple. Eșecul alchimiei medievale de a transforma un element chimic în altul a constituit o nouă dovadă în sprijinul indivizibilității acestor particule. Astfel, fără multe ezitări, li s-a dat vechiul nume grecesc: „atomi". Deși acum știm că „atomii lui Dalton" nu sunt deloc indivizibili (sunt formați din particule mai mici), numele de „atom" a rămas.

Astfel, entitățile numite „atomi" în fizica modernă nu sunt constituenții elementari și indivizibili ai materiei la care se gândea Democrit, și ar fi mai corect dacă termenul de „atom" s-ar atribui unor particule mult mai mici, cum sunt electronii și cuarcii, din care sunt alcătuiți atomii lui Dalton. (Pentru că tot i-am pomenit, cuarcii sunt constituenții ultimi ai nucleului atomic; am să vorbesc mai pe larg despre ei cu altă ocazie.) O asemenea schimbare tardivă de denumire ar crea însă multă confuzie. De aceea păstrăm vechiul nume de „atomi" în sensul lui Dalton și numim acele particule cum ar fi electronii și cuarcii „particule elementare". Această ultimă denumire indică faptul că în prezent credem că sunt *cu adevărat* elementare și indivizibile în sensul lui Democrit. Vă puteți desigur întreba dacă istoria nu se va repeta și dacă progresele viitoare

ale ştiinţei nu vor dovedi că particulele elementare au o structură complexă. Răspunsul meu este că, deşi nu există o garanţie absolută în acest sens, avem motive întemeiate să credem că de data asta nu ne înşelăm.

Există 92 de tipuri diferite de atomi (corespunzând celor 92 de elemente chimice diferite), iar fiecare tip de atom are caracteristici proprii destul de complicate. Acest fapt ne sugerează că ei ar putea avea o structură complexă, fiind alcătuiţi din particule mai simple.

Cum sunt construiţi atomii lui Dalton din particule elementare? Primul pas pentru a răspunde la această întrebare a fost făcut în 1911 de celebrul fizician britanic Ernest Rutherford (mai târziu Lord Rutherford of Nelson). El a studiat structura atomilor bombardându-i cu particule alfa. (Vă reamintesc că e vorba de nucleele atomilor de heliu.) Aceste particule încărcate pozitiv sunt emise în procesul de dezintegrare al elementelor radioactive. Rutherford a urmărit devierea (sau, altfel spus, împrăştierea) acestor proiectile după ce trec printr-o bucată de materie. A găsit că cele mai multe dintre proiectile treceau fiind doar foarte uşor deviate, iar puţine dintre ele erau împrăştiate la unghiuri foarte mari. Era ca şi cum ar fi tras la ţintă în ceva foarte mic, dar şi foarte concentrat, în interiorul atomului. Astfel, el a ajuns la concluzia că toţi atomii trebuie să aibă un miez central foarte dens, încărcat pozitiv, *nucleul*. El a presupus că acesta e înconjurat de un nor rarefiat de sarcini electrice negative.

Mai târziu s-a descoperit că nucleul atomic e alcătuit dintr-un număr de *protoni*, încărcaţi electric pozitiv, şi *neutroni*, neutri din punct de vedere electric. Aceştia seamănă atât de bine între ei (mai puţin în privinţa sarcinii electrice), încât sunt cunoscuţi sub numele colectiv de *nucleoni*. Ei sunt strâns ţinuţi laolaltă prin forţa de coeziune puternică, cu rază scurtă de acţiune, cunoscută sub numele de *forţă nucleară tare*. A primit acest nume fiindcă e suficient de tare pentru a ţine protonii le-

gați în nucleu, în ciuda forței de respingere ce acționează între sarcinile lor electrice pozitive.

Cât despre norul înconjurător, el e alcătuit din electroni ce roiesc de jur-împrejur sub influența atracției electrostatice exercitate de sarcina pozitivă a protonilor din nucleu. (Vă amintiți, desigur, că sarcinile de același semn se resping, iar cele de semn opus se atrag.) Numărul electronilor care formează norul unui atom diferă de la un tip de atom la altul și determină toate proprietățile fizice și chimice ale acelui tip de atom. Numărul de electroni variază de-a lungul șirului natural al elementelor chimice de la unu (pentru hidrogen) până la 92 (pentru cel mai greu element natural: uraniul).

În ciuda simplității aparente a modelului atomic al lui Rutherford, înțelegerea detaliilor sale s-a dovedit departe de a fi simplă. De exemplu, ce împiedică electronii să se îndrepte rapid spre nucleu sub influența atracției electrostatice? Conform ideilor clasice, singura explicație trebuia să fie că electronii evită nucleul în același mod în care planetele din sistemul solar evită să cadă spre Soare. Ele se mișcă pe orbite în jurul centrului de atracție (în acest caz, atracția gravitațională). Din păcate însă, fizica clasică spune de asemenea că atunci când corpurile care gravitează sunt încărcate electric, ele trebuie să radieze treptat energie — o formă a emisiei de lumină. S-a calculat că, datorită acestei pierderi continue de energie, toți electronii ce formează un nor atomic ar trebui să cadă pe nucleu într-o fracțiune de secundă! Această concluzie, perfect logică pornind de la teoria clasică, este însă în evidentă contradicție cu experiența care ne spune că, dimpotrivă, norii atomici sunt foarte stabili. În loc să cadă pe nucleu, electronii atomici își continuă mișcarea în jurul corpului central pentru o perioadă de timp nedefinită. Vedem deci că se naște un conflict adânc între ideile de bază ale mecanicii clasice și datele empirice privind comportarea mecanică a atomilor.

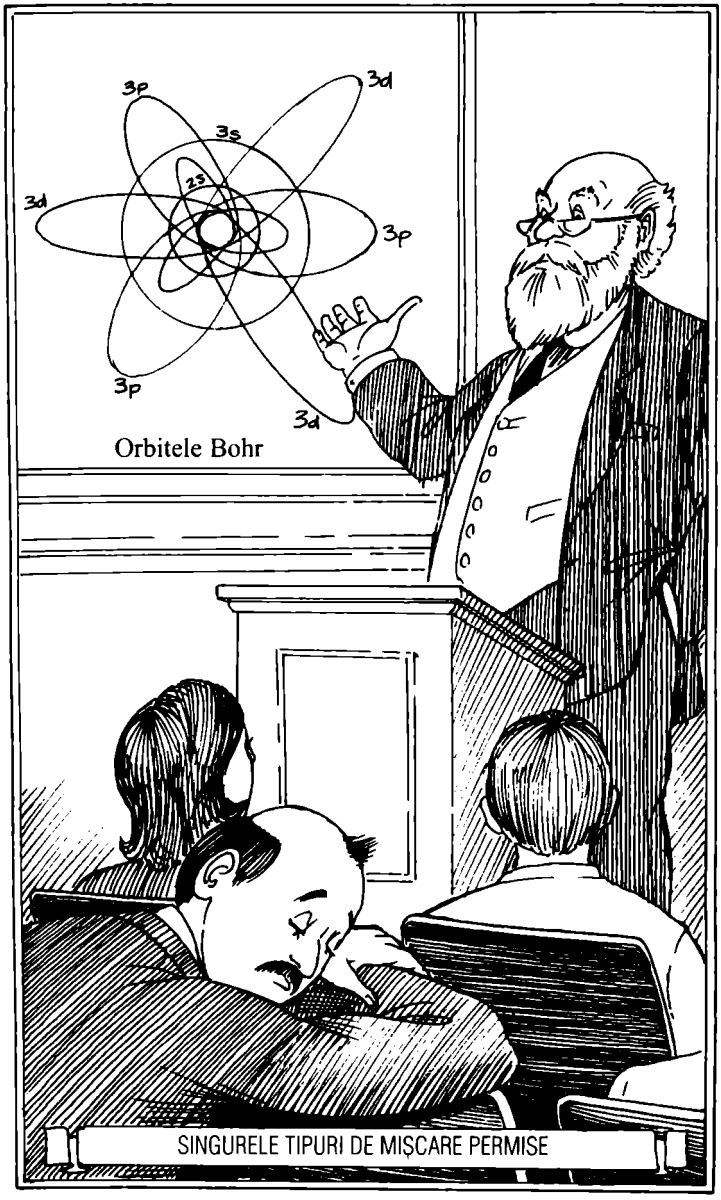
Aceste contradicții l-au condus pe faimosul fizician danez Niels Bohr să-și dea seama că mecanica clasică, ce pretinsese

vreme de secole să deţină o poziţie privilegiată şi sigură în cadrul sistemului ştiinţelor naturii, trebuia de acum înainte considerată ca o teorie limitată. E aplicabilă doar lumii macroscopice a experienţei noastre cotidiene, dar eşuează atunci când este aplicată la tipurile mult mai complicate de mişcare din interiorul atomilor.

Într-o încercare de a fundamenta un nou tip de mecanică (ce avea în cele din urmă să conducă la mecanica cuantică, despre care am vorbit într-o lecţie anterioară), Bohr a propus ca *din diversitatea infinită a orbitelor teoretic posibile în mecanica clasică, numai unele, puţine, anume selectate, să fie disponibile pentru mişcarea electronilor ce orbitează în jurul unui nucleu atomic*. Aceste orbite permise, sau traiectorii, sunt selectate conform unor condiţii matematice cunoscute drept *condiţiile cuantice* ale teoriei lui Bohr.

Nu voi intra aici în prezentarea detaliată a condiţiilor cuantice, ci voi menţiona doar că au fost alese astfel încât toate restricţiile impuse de ele încetează să mai aibă vreo importanţă dacă particulele care se mişcă au mase mult mai mari decât masele ce se întâlnesc în structurile atomului. Astfel, atunci când noua mecanică se aplică obiectelor macroscopice, cum ar fi planetele care orbitează, se obţin aceleaşi rezultate ca în vechea teorie clasică. Acest aşa-numit *principiu al corespondenţei* garantează, de exemplu, că, deşi o planetă are acces numai la anumite orbite în jurul Soarelui, ele sunt atât de numeroase şi atât de apropiate între ele, încât limitarea e inobservabilă. Prin urmare, putem cu uşurinţă avea impresia că nu există restricţii asupra tipului de orbită permis. Doar în cazul minusculelor mecanisme atomice diferenţele între stările învecinate permise devin atât de importante încât nu mai putem ignora faptul că restricţiile asupra traiectoriilor se aplică într-adevăr, iar deosebirile dintre cele două teorii devin semnificative.

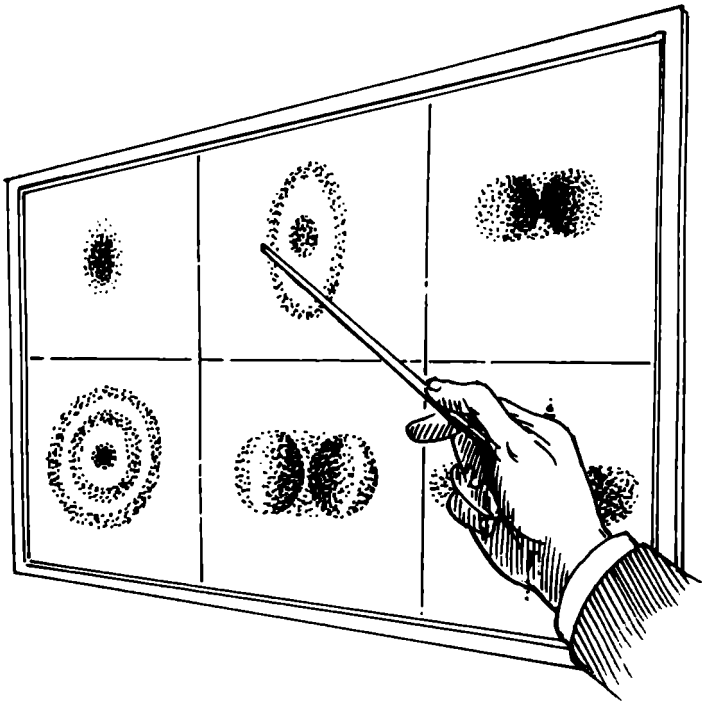
Fără să intru în detalii, daţi-mi voie să vă arăt genul de rezultate care se obţin din teoria lui Bohr. Pe acest diapozitiv am indicat (la o scară mult mărită, firește) sistemul orbitelor circulare


3p
3d
3s
2s
3d
3p
3p
3d
Orbitele Bohr
SINGURELE TIPURI DE MIȘCARE PERMISE

şi eliptice, reprezentând singurele tipuri de mişcare permise de condiţiile cuantice ale lui Bohr pentru electronii acestui atom. Mecanica clasică ar permite electronilor să se mişte la orice distanţă faţă de nucleu şi *nu ar impune restricţii* asupra excentricităţii (adică alungirii) orbitei. Dimpotrivă, orbitele selectate în teoria lui Bohr formează o mulţime discretă, cu toate caracteristicile dimensiunilor precis definite. Combinaţia de numere şi litere de lângă fiecare orbită indică numele acelei orbite, folosind schema de clasificare ce a fost adoptată. Puteţi observa, de pildă, că numerele mai mari corespund orbitelor cu diametru mai mare.

Deşi teoria lui Bohr asupra structurii atomice s-a dovedit foarte utilă pentru explicarea diferitelor proprietăţi ale atomilor şi moleculelor, ideea fundamentală de orbite cuantice discrete rămânea obscură. Cu cât încercai să analizezi mai în profunzime restricţia neobişnuită impusă asupra mecanicii clasice, cu atât devenea mai confuză imaginea globală. Devenise limpede că neajunsul fundamental al teoriei lui Bohr era că se baza pe impunerea unor restricţii asupra rezultatelor fizicii clasice printr-un sistem de condiţii suplimentare care erau în principiu străine de întreaga structură a teoriei clasice. Se cerea o regândire completă a fundamentelor fizicii.

Soluţia corectă a venit treisprezece ani mai târziu, în forma numită *mecanică cuantică* (cunoscută şi sub numele de *mecanică ondulatorie*). Aceasta a modificat întregul eşafodaj al mecanicii clasice. În ciuda faptului că sistemul mecanicii cuantice ar putea părea la prima vedere încă şi mai ciudat decât vechea teorie a lui Bohr, noua micro-mecanică reprezintă una din cele mai coerente şi acceptate părţi ale fizicii teoretice din ziua de azi. V-am vorbit deja pe larg într-o lecţie precedentă despre noua mecanică — în special despre noţiunile de „nedeterminare" şi „împrăştierea traiectoriilor". Nu vreau să mă repet. Să urmărim în schimb mai îndeaproape cum se aplică aceste idei la problema structurii atomice.



Acum avem forme difuze

În acest al doilea diapozitiv puteți vedea felul în care mișcarea electronilor atomici este vizualizată de mecanica cuantică din punctul de vedere al „împrăștierii traiectoriilor". Imaginea prezintă tipurile de mișcare corespunzând celor reprezentate clasic în diagrama precedentă (cu excepția faptului că, pentru a se distinge mai bine, le-am desenat separat). Puteți vedea că, în locul traiectoriilor precise din teoria lui Bohr, avem acum forme difuze, în conformitate cu *principiul de incertitudine*. Notația diferitelor stări este aceeași ca în diagrama precedentă. De fapt, dacă faceți o comparație între cele două figuri (și vă puneți la lucru imaginația), veți observa că formele difuze reflectă într-o oarecare măsură trăsăturile generale ale vechilor orbite Bohr. De pildă, numerele mai mari corespund modelelor mai

mari, orbitele circulare corespund formelor sferice, iar orbitele eliptice modelelor alungite. Aceste diagrame arată ce se întâmplă cu vechile traiectorii ale desuetei mecanici clasice atunci când îşi intră în rol mecanica cuantică. Deşi îţi ia ceva timp până te obişnuieşti cu ea, oamenii de ştiinţă care studiază microcosmosul atomilor acceptă această descriere.

Ne oprim aici cu prezentarea stărilor de mişcare în norul electronic al unui atom. Trecem acum la o problemă importantă legată de distribuţia electronilor între aceste diferite stări posibile de mişcare. Şi aici întâlnim un nou principiu — unul cu totul neobişnuit în lumea macroscopică. Acest principiu a fost formulat de Wolfgang Pauli. El afirmă că *într-un atom dat, nu pot exista două particule care să aibă simultan acelaşi tip de mişcare*. Această restricţie n-ar fi prea importantă dacă, aşa cum se întâmplă în mecanica clasică, ar exista o infinitate de mişcări posibile. În condiţiile mecanicii clasice, dacă o stare de mişcare este deja ocupată de un electron, un al doilea electron poate avea o stare diferită de a primului, dar diferenţele pot fi oricât de mici. Dar, din moment ce stările de mişcare permise sunt drastic limitate de legile cuantice, principiul lui Pauli joacă un rol foarte important în microunivers. În consecinţă, de pildă, dacă stările de mişcare în apropierea nucleului sunt deja ocupate de electroni, electronii suplimentari trebuie să ocupe stări aflate la distanţe mai mari de nucleu. Aceasta îi împiedică să se îngrămădească într-un anumit loc.

Din ce-am spus până acum nu trebuie totuşi să trageţi concluzia că fiecare stare cuantică difuză reprezentată în diagrama mea poate fi ocupată doar de un singur electron. De fapt, în afară de mişcarea de-a lungul orbitei, fiecare electron se roteşte şi în jurul propriei axe — cam aşa cum Pământul se învârte în jurul axei nord-sud, în plus faţă de mişcarea sa pe orbită în jurul Soarelui. Nu-l deranjează deloc pe dr Pauli dacă doi electroni se mişcă pe aceeaşi orbită, cu condiţia ca ei să se rotească în jurul axei lor în sensuri opuse. Această rotaţie se numeşte spin. Studiile detaliate asupra spinului electronilor indică

faptul că viteza de rotație în jurul propriei axe este întotdeauna aceeași, iar direcția acestei axe e întotdeauna perpendiculară pe planul orbitei. Rămân doar două posibilități de rotație; ele pot fi caracterizate ca fiind „în sensul acelor de ceasornic" și „în sens invers acelor de ceasornic".

Prin urmare, principiul lui Pauli, așa cum se aplică la stările cuantice dintr-un atom, ar putea fi reformulat astfel: *fiecare stare cuantică de mișcare poate fi ocupată de nu mai mult de doi electroni, iar, dacă sunt doi, spinul lor trebuie să fie în direcții opuse*. În consecință, pe măsură ce străbatem șirul elementelor naturale spre atomi cu un număr din ce în ce mai mare de electroni, vom găsi că stările cuantice de mișcare sunt ocupate treptat de electroni, pornind de la cele mai apropiate de nucleu spre cele mai îndepărtate.

Trebuie să menționăm de asemenea că, din punctul de vedere al tăriei legăturii, diferite stări cuantice ale electronilor atomici pot fi unite în grupe separate (sau pături) de stări cu aproximativ aceeași tărie a legăturii. Pe măsură ce înaintăm de-a lungul șirului elementelor, grupurile sunt ocupate unul după altul și, ca o consecință a umplerii succesive a păturilor electronice, proprietățile atomilor se modifică periodic. Aceasta este explicația bine-cunoscutului tabel periodic al elementelor, descoperit empiric de chimistul rus Dimitri Mendeleev.

12 În interiorul nucleului

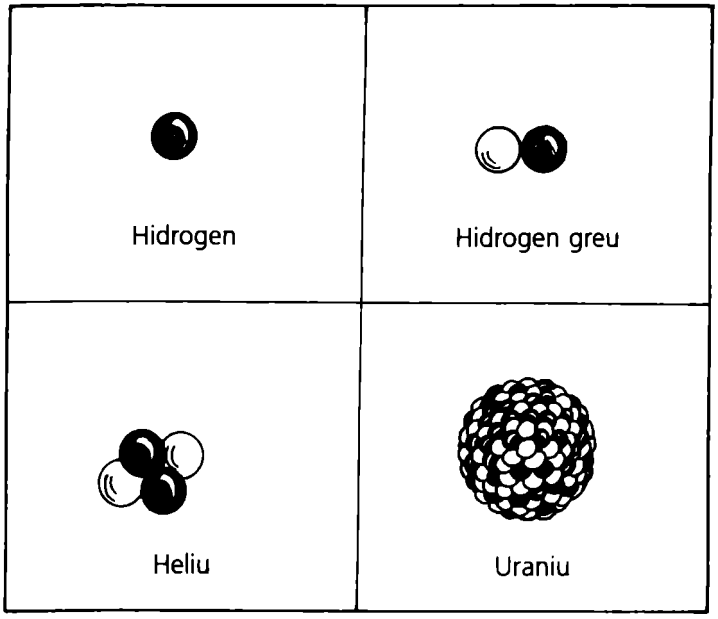
Următoarea lecție la care a asistat domnul Tompkins a fost dedicată studiului nucleului atomic. Profesorul a început:

Doamnelor și domnilor,

Săpând din ce în ce mai adânc în structura materiei, vom încerca acum să pătrundem cu ochii minții în interiorul nucleului atomic — regiunea misterioasă ce ocupă un volum de o mie de milioane de milioane de ori mai mic decât volumul total al atomului propriu-zis. Dar, în ciuda dimensiunilor incredibil de mici ale câmpului nostru de investigație, vom găsi aici multe lucruri fascinante.

Intrând în regiunea nucleară dinspre slab populatul nor electronic al atomului, suntem imediat surprinși de extrema supraaglomerare a populației locale. În ciuda dimensiunilor sale mici, nucleul conține aproximativ 99,97% din masa atomică totală. Aici particulele stau umăr lângă umăr — sau cel puțin așa ar sta dacă ar avea umeri. În această privință, imaginea interiorului nucleului este oarecum asemănătoare cu cea a unui lichid, de pildă apa — doar că în locul moleculelor de apă întâlnim particule mult mai mici: protonii și neutronii. Dacă vorbim despre dimensiunile geometrice, nucleonii au un diametru de aproximativ 0,000 000 000 000 001 metri.

Nucleonii sunt împachetați împreună foarte strâns datorită acțiunii forței nucleare tari. Ea funcționează cam în același fel ca forțele ce acționează între moleculele unui lichid. Și, exact ca la lichide, deși forțele împiedică particulele să fie complet



Nuclee

separate, ele nu stânjenesc deplasarea relativă a unora faţă de altele. Astfel, materia nucleară posedă un anumit grad de fluiditate. Atunci când nu este perturbată de vreo forţă externă, ia forma unei picături sferice, exact ca o picătură de apă obişnuită.

În diagrama schematică pe care v-o prezint, puteţi vedea diferite tipuri de nuclee alcătuite din protoni şi neutroni. Cel mai simplu este nucleul de hidrogen, care constă doar dintr-un proton. La polul opus, cel mai complicat este nucleul de uraniu care constă din 92 de protoni şi 142 de neutroni. Evident, trebuie să priviţi aceste desene drept o reprezentare foarte schematică a situaţiei reale, deoarece, conform principiului de incertitudine, fundamental în teoria cuantică, poziţia fiecărui nucleon este de fapt „împrăştiată" pe întreaga regiune nucleară.

Aşa cum am spus, particulele care formează nucleul atomic sunt menţinute împreună de forţe de coeziune tari. În plus

faţă de aceste forţe de atracţie, există de asemenea forţe de alt tip ce acţionează în direcţia opusă. După cum ştiţi, protonii, care formează aproximativ jumătate din populaţia nucleară totală, au sarcină electrică pozitivă. Ei se resping unul pe altul prin forţele electrostatice coulombiene. Pentru nucleele uşoare, la care sarcina electrică este comparativ mică, repulsia coulombiană nu are consecinţe prea importante. Dar în cazul celor mai grele, nucleele cu sarcină electrică mare, forţele coulombiene intră într-o serioasă competiţie cu forţele nucleare tari, de atracţie. Acestea din urmă sunt forţe cu rază scurtă de acţiune şi, prin urmare, operează doar între nucleonii învecinaţi. Forţele electrostatice, dimpotrivă, sunt forţe cu rază lungă de acţiune. Aceasta înseamnă că un proton de la periferia nucleului va fi atras doar de vecinii lui cei mai apropiaţi, dar va fi respins de *toţi* ceilalţi protoni din nucleu. Adăugarea altor protoni va spori treptat forţa de respingere, fără ca, în compensaţie, să crească forţele tari atractive (există o limită fizică a numărului de vecini de care se poate „freca" un proton). Peste o anumită dimensiune, nucleul nu mai este stabil şi poate emite unii dintre constituenţii săi. Şi chiar asta se întâmplă cu un număr de elemente de la capătul tabelului periodic al lui Mendeleev: cele cunoscute drept „elemente radioactive".

Din toate acestea aţi putea trage concluzia că nucleele grele instabile ar trebui să emită protoni (deoarece neutronii nu au sarcină electrică şi deci nu contribuie la forţele coulombiene repulsive). Experimentele arată însă că sunt emise particulele alfa. Motivul pentru această grupare specială a constituenţilor nucleari este stabilitatea deosebită a combinaţiei de doi protoni şi doi neutroni care reprezintă particula alfa; astfel, nucleonii sunt legaţi împreună deosebit de eficient. E mai uşor să fie emis întregul grup deodată decât să fie spart în protoni şi neutroni separaţi.

Fenomenul dezintegrării radioactive a fost descoperit de fizicianul francez Henri Becquerel. Interpretarea lui ca rezultat al dezintegrării spontane a nucleului atomic a fost dată de fi-

zicianul englez Lord Rutherford — un nume pe care l-am menţionat deja în alt context. Ştiinţa îi datorează mult lui Rutherford pentru importantele sale descoperiri din fizica nucleului atomic.

Una dintre caracteristicile interesante ale procesului de dezintegrare alfa este perioada uneori extrem de lungă necesară particulei alfa ca să „evadeze" din nucleu. Pentru *uraniu* şi *toriu* această perioadă se măsoară în miliarde de ani; pentru *radiu* este de aproximativ şaisprezece secole. Există elemente pentru care dezintegrarea are loc în fracţiuni de secundă, dar chiar şi în aceste cazuri durata este foarte lungă în raport cu rapiditatea mişcării intranucleare. Astfel, trebuie să ne întrebăm ce anume constrânge particulele alfa să rămână în interiorul nucleului, uneori vreme de mai multe miliarde de ani, când forţele repulsive sunt suficient de mari pentru a le izgoni. Şi dacă tot au stat atât de mult, ce anume declanşează în cele din urmă expulzarea lor?

Pentru a răspunde la această întrebare, trebuie să mai ştim câte ceva despre raportul dintre tăria forţelor de coeziune nucleare şi a celor repulsive electrostatice. Un studiu experimental foarte minuţios a fost efectuat de Rutherford. El a folosit metoda numită „bombardament atomic". În faimoasele sale experimente de la Laboratoarele Cavendish, Rutherford a direcţionat un fascicul de particule alfa rapide, emise de o substanţă radioactivă, şi a observat devierea (sau împrăştierea) acestor proiectile atomice în urma ciocnirii lor cu nucleele substanţei bombardate. Aceste experimente au confirmat că, în timp ce la mare distanţă de nucleu proiectilele sunt respinse de forţele electrice cu rază lungă de acţiune ale nucleului, această repulsie se transformă într-o atracţie puternică dacă proiectilele reuşesc să ajungă foarte aproape de limita exterioară a regiunii nucleare. Puteţi spune că nucleul seamănă oarecum cu o fortăreaţă înconjurată din toate părţile de ziduri înalte, abrupte, care împiedică particulele să intre, dar şi să iasă.

Cel mai şocant rezultat al experimentelor lui Rutherford a fost însă descoperirea că particulele alfa care ies din nucleu în procesul de dezintegrare radioactivă, la fel ca particulele ce pătrund în nucleu venind din afară, posedă de fapt *mai puţină energie* decât cea corespunzând punctului cel mai înalt al zidului sau al *barierei de potenţial*, cum o numim de obicei. Aceasta e în contradicţie flagrantă cu toate ideile fundamentale din mecanica clasică. Într-adevăr, cum v-aţi putea aştepta ca o bilă să se rostogolească până în vârful dealului, dacă aţi aruncat-o cu mai puţină energie decât are nevoie pentru a ajunge în vârf? Fizica clasică s-ar fi mărginit să presupună că trebuie să se fi strecurat o greşeală în experimentele lui Rutherford.

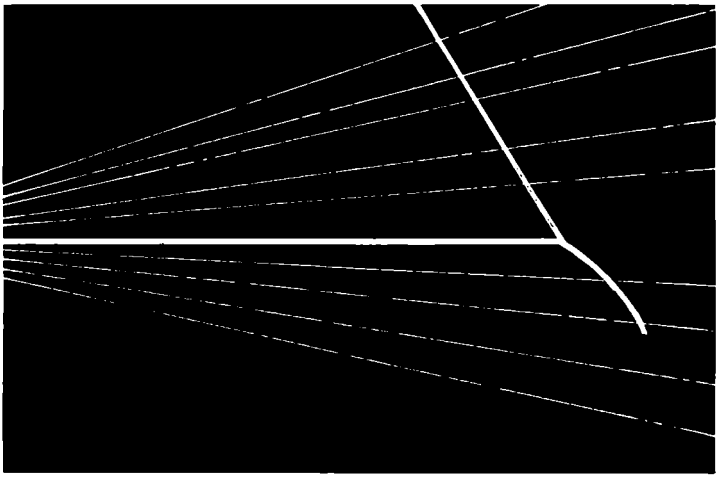
Dar nu era nici o greşeală. Situaţia a fost lămurită simultan de George Gamow şi de Ronald Gurney şi E.U. Condon. Ei au arătat că, din perspectiva teoriei cuantice, contradicţia dispărea. După cum am mai spus, ştim că fizica cuantică respinge traiectoriile bine definite ale mecanicii clasice şi le înlocuieşte cu un fel de urme fantomatice, difuze. Şi, la fel cum o fantomă adevărată poate trece fără efort prin pereţii groşi ai unui vechi castel, aceste traiectorii fantomatice pot penetra barierele de potenţial care par impenetrabile din punctul de vedere al mecanicii clasice.

Să nu vă închipuiţi nici o clipă că glumesc. Penetrabilitatea barierelor de potenţial pentru particule cu energie insuficientă e o consecinţă matematică directă a ecuaţiilor fundamentale ale noii mecanici cuantice. Ea reprezintă una din cele mai importante diferenţe între noile şi vechile idei despre mişcare. Dar, deşi noua mecanică permite aceste efecte neobişnuite, ea impune restricţii serioase: în majoritatea cazurilor şansa trecerii prin barieră este extrem de mică, iar particula prizonieră trebuie să se izbească de zid de un număr de ori neverosimil de mare pentru a reuşi în cele din urmă să iasă. Teoria cuantică dă o regulă exactă pentru calculul probabilităţii unei asemenea evadări; s-a demonstrat că perioadele observate ale

dezintegrării alfa sunt în perfect acord cu predicţiile teoriei. La fel, în cazul particulelor trimise spre nucleu din afară, rezultatele calculelor de mecanică cuantică sunt foarte apropiate de datele experimentale.

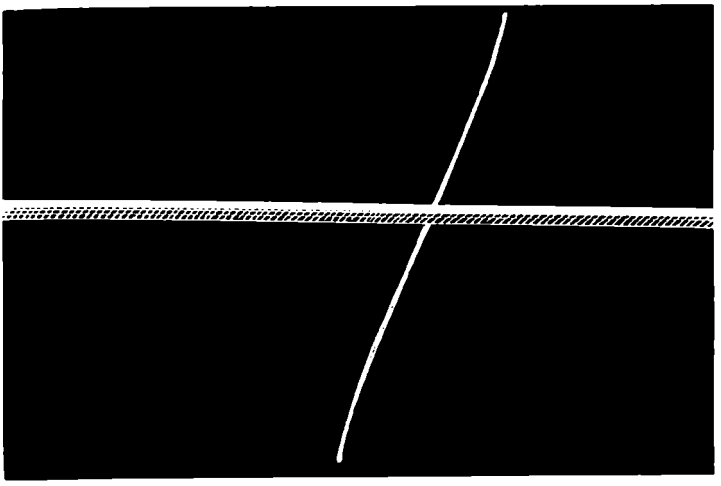
Înainte de a merge mai departe, aş dori să vă arăt câteva fotografii reprezentând procesul de dezintegrare a diferitelor nuclee atunci când sunt ciocnite cu particule atomice de energie înaltă. Prima este o veche imagine dintr-o cameră cu ceaţă. Ar trebui să vă spun că, deoarece particulele nucleare sunt atât de mici, nu le putem vedea direct nici dacă folosim cel mai puternic microscop. Aşa că nu aşteptaţi să vă arăt chiar fotografiile lor. Trebuie să ne folosim isteţimea.

Gândiţi-vă la dâra de vapori lăsată de un avion la mare altitudine. Avionul se poate afla atât de sus, încât să fie foarte greu de văzut; mai mult, ar putea nici să nu mai fie acolo. Dar ştim că lasă în urmă o dâră de vapori. C.R.T. Wilson a găsit astfel o metodă simplă de a face „vizibile" nucleele subatomice. A construit o cameră ce conţinea gaz şi vapori. Folosind un piston, a lăsat gazul să se dilate brusc. Aceasta provoca o scădere instantanee a temperaturii, vaporii ajungând în stare suprasaturată; se creau astfel toate condiţiile ca vaporii să formeze ceaţă. Dar ceaţa nu poate apărea fără să existe nişte centri de condensare (altminteri, de ce s-ar forma într-un loc şi nu într-altul?). Ceea ce se întâmplă în mod normal la formarea norilor este că particulele de praf prezente în atmosferă devin centrii preferenţiali de unde începe procesul de condensare. Partea interesantă însă e că în camera cu ceaţă a lui Wilson nu există nici un fir de praf. În acest caz, cum se pot forma picăturile? Răspunsul e că, atunci când o particulă încărcată trece printr-un mediu, ea ionizează atomii din drumul ei (cu alte cuvinte, scoate electronii din atomi). Aceşti atomi ionizaţi reprezintă centri din care pot începe să crească picăturile. Ceea ce se întâmplă într-o asemenea cameră cu ceaţă este că în locurile pe unde trec particulele încărcate (lăsând în urma lor dâra de atomi ionizaţi) se formează o urmă de picături foarte mici



Se formează o urmă de picături foarte mici

care într-o fracțiune de secundă cresc până la dimensiuni vizibile și pot fi fotografiate. Este exact ceea ce puteți observa în acest diapozitiv. Vedeți numeroase urme de picături venind din stânga. Fiecare urmă e provocată de câte o particulă alfa provenind de la o sursă puternică de particule alfa (care nu e prezentă în imagine). Majoritatea acestor particule trec prin câmpul vizual fără să sufere nici o ciocnire serioasă, dar una dintre ele — cea din mijloc — a reușit să lovească un nucleu de azot. Urma particulei alfa se oprește în punctul unde a avut loc ciocnirea, iar de acolo apar alte două urme. Urma lungă, subțire, îndreptată în sus în fotografie, aparține unui proton expulzat din nucleul de azot. Urma scurtă și groasă reprezintă reculul nucleului. Nu mai e însă un nucleu de azot, căci pierzând un proton și absorbind particula alfa incidentă s-a transformat într-un nucleu de oxigen. Astfel, avem aici o transformare alchimică a azotului în oxigen, cu hidrogenul ca produs secundar. V-am prezentat această imagine deoarece e prima fotografie a transmutației artificiale a elementelor. A fost făcută de Patrick Blackett, un student al Lordului Rutherford.



Acest fenomen e cunoscut sub numele de fisiune nucleară

Acest proces e tipic pentru multe alte transformări nucleare studiate în fizica experimentală din zilele noastre. În toate transformările de acest fel, particula incidentă (proton, neutron sau particulă alfa) pătrunde în nucleu, aruncă afară câteva alte particule şi poate rămâne ea însăşi în locul lor. În toate transformările de acest tip se formează un nou element în cursul reacţiei.

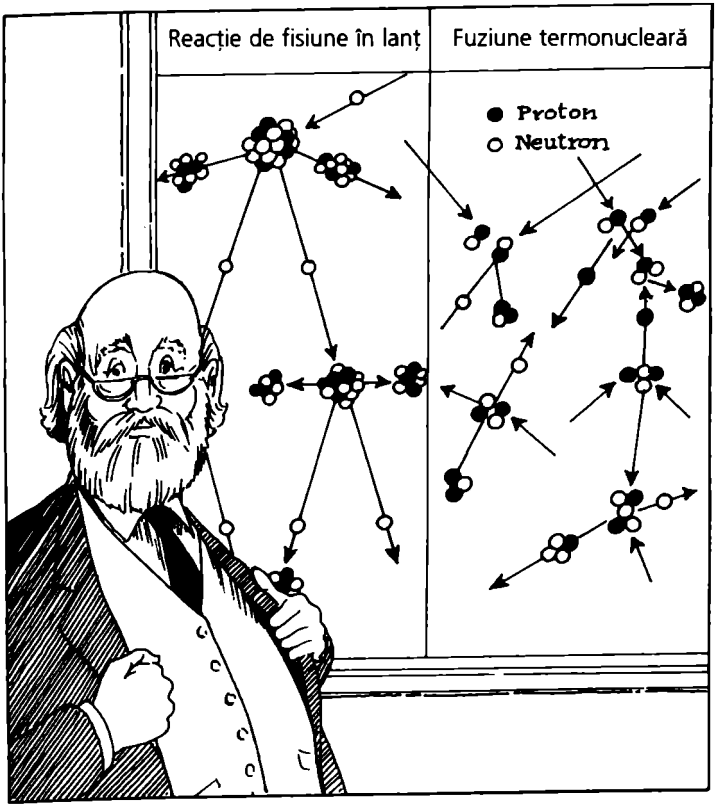
Chiar înainte de cel de-al Doilea Război Mondial, doi chimişti germani, O. Hahn şi F. Strassmann, au descoperit un alt tip de transformare nucleară: un nucleu greu se rupe în două părţi aproximativ egale cu eliberarea unei imense cantităţi de energie. În următorul diapozitiv vedeţi două fragmente de uraniu zburând în direcţii opuse dintr-un filament subţire de uraniu. Acest fenomen, cunoscut sub numele de *fisiune nucleară,* a fost observat prima dată în cazul uraniului bombardat cu un fascicul de neutroni. La puţin timp însă, s-a descoperit că şi alte elemente, aflate la fel ca uraniul către capătul tabelului periodic, posedă proprietăţi asemănătoare. Se pare că aceste nuclee grele se află la limita stabilităţii. Cea mai mică provocare, de

pildă ciocnirea cu un neutron, e suficientă pentru a le face să se rupă în două — ca o picătură prea mare de apă care e scuturată. Instabilitatea nucleelor grele dă explicaţia pentru numărul de doar 92 de elemente din natură. Nici un nucleu mai greu decât uraniul nu poate rezista un timp semnificativ de lung fără să se rupă imediat în fragmente mult mai mici — aceasta se întâmplă aproape spontan, fără vreo intervenţie din afară.

Fenomenul de fisiune nucleară este interesant dintr-un punct de vedere practic: poate fi o sursă de energie nucleară. Atunci când se rup, nucleele emit energie sub formă de radiaţie şi de particule rapide. Printre particulele emise se află şi neutroni. Ei pot continua să provoace fisiunea nucleelor învecinate. La rândul lor, acestea vor emite alţi neutroni, care vor conduce la alte fisiuni — ceea ce se numeşte *reacţie în lanţ*. Dacă există suficient uraniu — cantitate pe care o vom numi *masă critică* —, neutronii emişi vor avea o probabilitate suficient de mare ca să ciocnească alte nuclee şi să provoace noi fisiuni, iar procesul se va autoîntreţine. Se poate declanşa o reacţie explozivă, în care energia înmagazinată în nuclee este eliberată brusc într-o fracţiune de secundă. Acesta a fost principiul primelor bombe nucleare.

Reacţia în lanţ nu trebuie neapărat să ducă la o explozie. În condiţii controlate atent, procesul poate fi stăpânit, conducând la o eliberare treptată şi continuă de energie. Este ceea ce se întâmplă în centralele nuclearo-electrice.

Fisiunea nucleară a elementelor grele precum uraniul nu e singurul mod de a extrage energie din nucleu. Există o cale complet diferită. Aceasta implică unirea elementelor celor mai uşoare, cum ar fi hidrogenul, pentru a produce altele mai grele. Procesul e cunoscut sub numele de *fuziune nucleară*. Atunci când două nuclee uşoare vin în contact, ele se unesc ca două picături de apă pe o farfurioară. Aceasta se poate întâmpla doar la temperaturi foarte înalte, altfel nucleele nu se pot apropia suficient din cauza respingerii electrostatice. Dacă temperaturile ating milioane de grade, respingerea electrostatică nu mai



Atât fisiunea cât și fuziunea pot duce la eliberare de energie

e suficientă pentru a împiedica contactul dintre cele două nuclee și începe procesul de fuziune. Cele mai potrivite nuclee pentru fuziune sunt deuteronii, adică nucleele de hidrogen greu — deuteriul putând fi extras din apa mării.

Acum poate că vă întrebați cum se poate ca atât fisiunea, cât și fuziunea să conducă la eliberarea de energie. Cel mai important lucru pe care trebuie să-l înțelegem este că anumite combinații de protoni și neutroni sunt mai strâns legate decât altele. Când pornim de la un sistem legat ceva mai difuz către

unul în care nucleonii sunt legaţi mai eficient, energia în exces este disponibilă pentru a fi eliberată. Nucleele mari de uraniu sunt mai ineficient legate şi pot fi transformate în combinaţii mai strânse rupându-se în grupuri mai mici. La celălalt capăt al tabelului periodic se află combinaţiile de nucleoni cel mai eficient legate. Un nucleu de heliu, de exemplu, alcătuit din doi protoni şi doi neutroni, este excepţional de strâns legat — aşa cum am arătat ceva mai sus. Prin urmare, există energie care poate fi eliberată dacă nucleoni sau deuteroni separaţi pot fi convinşi să se ciocnească şi să se lipească unii de alţii formând heliu.

Aici îşi face apariţia bomba cu hidrogen. Ea se bazează pe conversia hidrogenului în heliu prin reacţii ce implică fuziunea. În reacţia de fuziune se eliberează mult mai multă energie — de aici şi puterea mai mare a bombei cu hidrogen faţă de prima generaţie de arme nucleare bazate pe fisiune. Din păcate, s-a dovedit mult mai dificil să îmblânzim forţa bombei cu hidrogen în scopuri paşnice. Centralele electrice care să producă energie folosind fuziunea nucleară mai au încă un drum lung până să ajungă viabile din punct de vedere economic.

Dar Soarele o poate face fără probleme. Conversia continuă a hidrogenului în heliu este principala sursă de energie din Soare, iar el a reuşit să menţină reacţia într-un ritm constant de 5 000 de milioane de ani — şi o va mai menţine încă vreo 5 000 de milioane de acum înainte.

În stelele mai mari decât Soarele, temperaturile mai ridicate din interior fac să aibă loc multe alte reacţii de fuziune. Acestea convertesc heliul în carbon, carbonul în oxigen şi aşa mai departe până la fier. Dincolo de fier nu se mai poate obţine energie prin fuziune. În schimb, aşa cum am văzut în cazul elementelor grele cum e uraniul, o împachetare mai eficientă a nucleonilor, şi deci o eliberare de energie, se obţine prin procesul invers: fisiunea.

13 Cioplitorul în lemn

Ajungând acasă seara după lecție, domnul Tompkins a găsit-o pe Maud deja în pat dormind. Și-a făcut o ciocolată fierbinte și s-a dus și el la culcare. A mai stat puțin până să adoarmă, gândindu-se la lecția din acea seară. Și-a amintit mai ales partea în care era vorba despre bombele nucleare. Amenințarea distrugerii nucleare îl tulburase dintotdeauna.

„Nu se poate una ca asta", își zise el. „O să-mi provoc singur coșmaruri dacă nu sunt atent." A pus alături ceașca goală, a stins lumina și s-a cuibărit lângă Maud. Din fericire, visele nu i-au fost deloc neplăcute...

Domnul Tompkins se afla într-un atelier. Pe o latură se găsea o masă de lucru din lemn, acoperită cu unelte de tâmplărie. Pe niște rafturi vechi prinse în perete a observat diferite sculpturi în lemn de forme ciudate și neobișnuite. Un bătrân cu figura prietenoasă lucra la masă. Privind mai îndeaproape trăsăturile lui, domnul Tompkins a fost izbit de asemănarea cu bătrânul Gepeto din Pinocchio-ul lui Walt Disney, dar și cu un portret al Lordului Rutherford de Nelson la bătrânețe, pe care îl văzuse atârnat în laboratorul profesorului.

— Scuzați, îndrăzni domnul Tompkins, nu mă pot abține să nu remarc asemănarea dumneavoastră cu Lordul Rutherford, fizicianul nuclearist. Sunteți cumva rudă cu el?

— De ce întrebați? răspunse bătrânul, punând alături bucata de lemn pe care o cioplea. Să nu-mi spuneți că vă interesează fizica nucleară.

— Ei bine, recunosc că mă interesează, zise timid domnul Tompkins. Dar nu în calitate de expert, evident...

— În cazul ăsta aţi nimerit cum nu se poate mai bine. Eu fac tot felul de nuclee. Aş fi încântat să vă prezint micul meu atelier.

— Aţi spus că le *faceţi*?! exclamă domnul Tompkins.

— Da, sigur. Bineînţeles, ai nevoie de ceva îndemânare, mai ales în cazul nucleelor radioactive. Ele au tendinţa să se descompună înainte să apuc să le vopsesc.

— Să le *vopsiţi*?

— Da, folosesc roşu pentru particulele încărcate pozitiv şi cian (nuanţa asta care te duce cu gândul la o coadă de păun) pentru cele negative. Roşul şi cianul sunt culori complementare; dacă le amesteci se anulează reciproc, amestecul e lipsit de culoare.

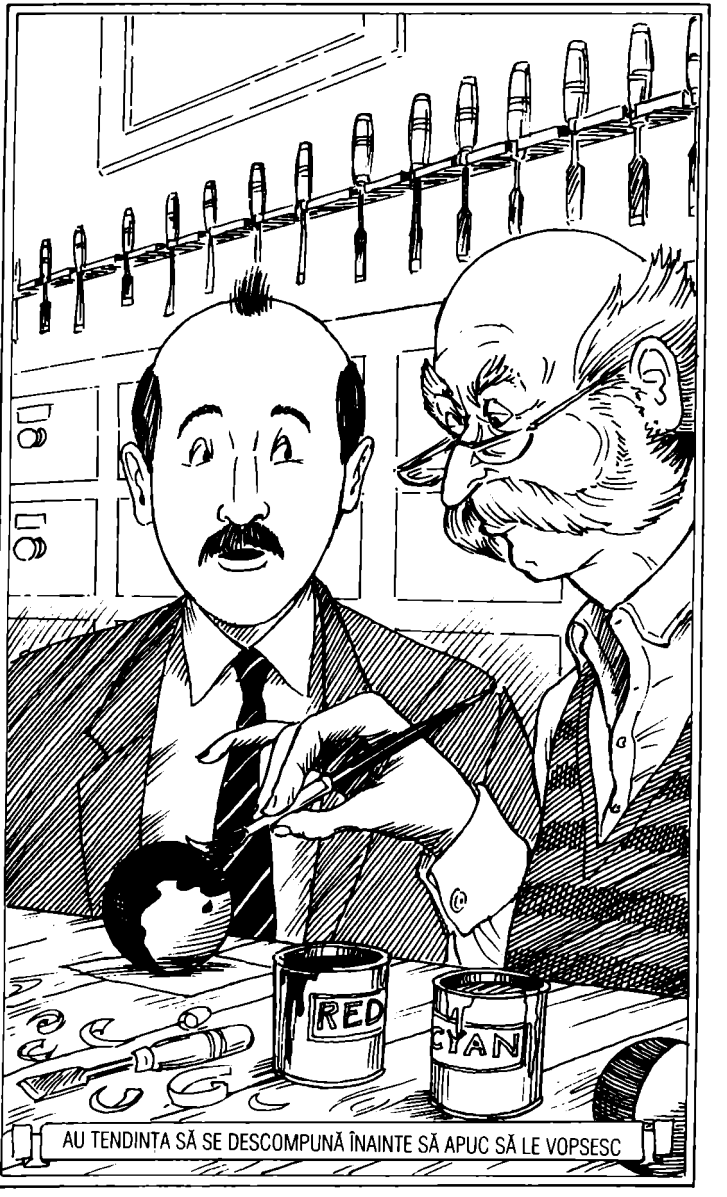
— Nu cred, protestă timid domnul Tompkins. Nu poate fi *lipsit de culoare*, sunt sigur. Dacă amestec vopsea roşie cu vopsea albastru-verzuie obţin... mă rog, ceva spălăcit.

Cioplitorul în lemn zâmbi.

— Corect. Nu iese fără culoare dacă amesteci pigmenţii. Dar un amestec de lumină roşie şi albastru-verzuie produce senzaţia de alb.

Domnul Tompkins continua să se îndoiască.

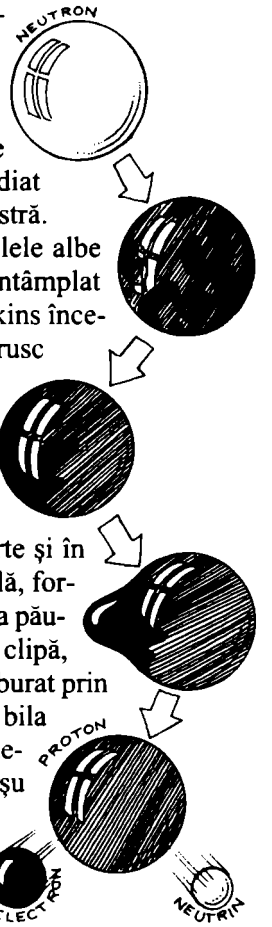
— Dacă nu mă credeţi, reluă bătrânul, n-aveţi decât să vopsiţi un titirez jumătate în roşu şi jumătate în cian — cum e titirezul pe care-l am eu aici —, iar apoi să-l învârtiţi repede. Uitaţi! E alb, lipsit de culoare. Mă rog, aşa cum v-am spus, vopsesc protonii din nucleu în roşu, pentru că au sarcină pozitivă, iar electronii din afara nucleului în cian, pentru că au sarcină negativă. Asta corespunde anulării reciproce a sarcinilor electrice pozitive şi negative. Dacă atomul e alcătuit dintr-un număr egal de sarcini pozitive şi negative mişcându-se încoace şi încolo, el va fi neutru din punct de vedere electric şi îl veţi vedea alb. Dacă are mai multe sarcini pozitive sau


RED
CYAN
AU TENDINȚA SĂ SE DESCOMPUNĂ ÎNAINTE SĂ APUC SĂ LE VOPSESC

mai multe negative, întregul sistem va apărea fie roşu, fie albastru-verzui. Simplu, nu?

Domnul Tompkins fu de acord. Cioplitorul continuă, arătându-i domnului Tompkins două cutii mari de lemn aşezate lângă masă:

— Aici ţin materialele din care pot fi construite diferite nuclee. Prima cutie conţine *protoni*, bilele astea roşii. Sunt foarte stabili şi-şi păstrează permanent culoarea — dacă nu le zgârii cu ceva ascuţit. Am mult mai multe bătăi de cap cu *neutronii* din cealaltă cutie. În mod normal sunt albi, adică neutri electric. Au însă tendinţa să se transforme în protoni roşii. Cât timp cutia este bine închisă, totul e în regulă, dar imediat ce scoţi unul... Ia uitaţi şi dumneavoastră.



Deschizând cutia, a luat una din bilele albe şi a pus-o pe masă. Un timp, nu s-a întâmplat nimic. Apoi, chiar când domnul Tompkins începea să-şi piardă răbdarea, bila a prins brusc viaţă. Benzi neregulate roşietice şi verzui au apărut pe suprafaţa ei, iar pentru un scurt timp bila arăta ca acelea din marmură colorată cu care le place copiilor să se joace. Apoi culoarea verde-albăstrui s-a concentrat pe o parte şi în cele din urmă s-a separat cu totul de bilă, formând o picătură strălucitoare de culoarea păunului, care a căzut pe podea. În aceeaşi clipă, o mică bilă albă s-a desprins şi ea şi a zburat prin cameră, dispărând în perete. Între timp, bila însăşi a rămas complet roşie, cu nimic deosebită de ceilalţi protoni coloraţi în roşu din prima cutie.

— Aţi văzut? Culoarea albă a neutronului s-a separat în roşu şi cian, pe urmă întregul s-a rupt în trei par-

ticule: electronul ăsta, spuse bătrânul culegând bila ce căzuse pe podea. Vedeţi, e un electron cât se poate de obişnuit. Mai e şi protonul de pe masă (la rândul lui un proton absolut obişnuit), iar apoi acel neutrin.

— Acel ce? întrebă domnul Tompkins privind uimit. Îmi cer scuze, ultimul pe care l-aţi pomenit, ce anume era?

— Un neutrin, repetă cioplitorul. A ieşit pe aici, adăugă el arătând spre peretele opus. Nu l-aţi observat?

— Ba da, ba da, se grăbi să răspundă domnul Tompkins. L-am văzut. Dar unde s-a dus? Nu-l mai văd.

— Aşa se întâmplă cu neutrinii. Tare şmecheri mai sunt. Trec prin orice. Uşi închise, pereţi. Pot ajunge de aici până în partea cealaltă a Pământului.

— Doamne Dumnezeule! exclamă domnul Tompkins. Ciudat! Asta întrece orice scamatorie pe care am văzut-o vreodată. Puteţi transforma acum culorile la loc?

— Da, pot să şterg culoarea cian de pe suprafaţa bilei roşii (împingând înăuntru un electron) şi s-o fac din nou albă, dar asta cere ceva energie, vă daţi seama. Altă soluţie e să răzuiesc vopseaua roşie, dar şi asta cere energie. În acest caz vopseaua răzuită de pe suprafaţa bilei ar forma un pozitron roşu — un electron pozitiv. Aţi auzit de pozitroni?

— Da, pe când eram eu însumi un electron... începu domnul Tompkins, dar se opri imediat. Vreau să spun... am auzit că un electron negativ şi cu unul pozitiv se anihilează reciproc ori de câte ori se întâlnesc. Puteţi să faceţi pentru mine şi scamatoria asta?

— Nici o problemă. Dar n-are rost să răzuiesc vopseaua de pe protonul ăsta. Am deja o pereche de pozitroni rămaşi de la lucrul de azi-dimineaţă.

Deschizând unul din dulapuri, a scos o mică bilă roşie strălucitoare şi, ţinând-o strâns între arătător şi degetul mare, a pus-o lângă cea verde de pe masă. S-a auzit un bubuit ascuţit, ca explozia unei petarde, iar ambele bile au dispărut imediat.

— Vedeți? zise cioplitorul suflând peste degetele lui ușor arse. De aceea nu se pot folosi electroni ca să construiești nuclee. Am încercat o dată, dar am renunțat repede. Acum folosesc numai protoni și neutroni.

— Dar neutronii sunt și ei instabili, nu-i așa? întrebă domnul Tompkins, amintindu-și recenta demonstrație.

— Când sunt singuri, da. Dar, atunci când stau strâns împachetați în nucleu și sunt înconjurați de alte particule, devin foarte stabili. Dacă nu cumva sunt prea mulți neutroni în nucleu în raport cu numărul total de protoni. Atunci se pot transforma în protoni, vopseaua suplimentară fiind emisă de nucleu sub forma unui electron negativ. La fel, dacă sunt prea mulți protoni, ei se pot transforma în neutroni, descotorosindu-se de vopseaua roșie sub forma unui electron pozitiv. Asemenea ajustări se numesc transformări beta. „Beta" este vechiul nume al electronilor emiși în aceste dezintegrări radioactive.

— Folosiți vreun lipici în construcția nucleelor? întrebă plin de interes domnul Tompkins.

— Nu-i nevoie. Aceste particule se lipesc de la sine unele de altele imediat ce vin în contact. Puteți încerca, dacă vreți.

Urmându-i îndemnul, domnul Tompkins a luat câte un neutron și un proton în fiecare mână și le-a apropiat cu grijă. Brusc a simțit că se atrag cu mare putere și, privind particulele, a observat un fenomen foarte ciudat. Particulele își schimbau culoarea, devenind pe rând roșii și albe. Era ca și cum vopseaua roșie ar fi „sărit" de pe bila din mâna dreaptă spre cea din mâna stângă și înapoi. Licărul culorilor era atât de rapid încât cele două bile păreau legate printr-o bandă rozalie de-a lungul căreia culoarea oscila încoace și încolo.

— Acesta e ceea ce prietenii mei fizicienii teoreticieni numesc „fenomen de schimb", spuse bătrânul meșter, amuzându-se de surpriza domnului Tompkins. Ambele bile ar dori să fie roșii, adică să aibă sarcină electrică, dacă vrei să interpretezi astfel, iar cum n-o pot avea simultan, trag de ea ba într-o parte, ba într-alta. Nici una nu vrea să renunțe, așa că stau strâns

împreună, dacă nu le separi cu forţa. Am să vă arăt acum ce simplu e să faci orice nucleu vrei. Ce doriţi să fie?

— Aur, spuse domnul Tompkins, amintindu-şi de ambiţia alchimiştilor medievali.

— Aur? Ia să vedem, murmură cioplitorul, întorcându-se către o hartă atârnată pe perete. Nucleul de aur cântăreşte o sută nouăzeci şi şapte de unităţi şi are şaptezeci şi nouă de sarcini electrice pozitive. Asta înseamnă că trebuie să iau şaptezeci şi nouă de protoni şi să adaug o sută optsprezece neutroni ca să obţinem masa corectă.

După ce a numărat atent particulele, le-a pus într-un vas cilindric înalt şi a acoperit vasul cu un piston greu de lemn. Apoi a împins cu toată forţa pistonul în jos.

— Trebuie să fac asta din cauza respingerii electrostatice puternice dintre protonii încărcaţi pozitiv. Odată învinsă respingerea prin presiunea pistonului, protonii şi neutronii se vor lipi împreună graţie forţelor reciproce de schimb şi vom avea nucleul dorit.

A împins pistonul cât se putea de mult, iar apoi l-a scos afară şi a răsturnat vasul. O bilă strălucitoare rozalie s-a rostogolit pe masă. Privind-o mai atent, domnul Tompkins a observat că nuanţa rozalie se datora jocurilor de lumină roşie şi albă dintre particulele aflate în mişcare rapidă.

— Ce frumos! exclamă el. Deci aşa arată un atom de aur!

— Nu e încă un atom, e doar un nucleu atomic, îl corectă bătrânul. Pentru a desăvârşi atomul trebuie să adăugăm numărul necesar de electroni ca să neutralizăm sarcina electrică pozitivă a nucleului şi să-i facem păturile obişnuite de electroni din jurul lui. Dar asta e simplu. Nucleul îşi va prinde singur electronii, dacă există prin preajmă.

— E ciudat că socrul meu n-a spus niciodată că se poate face aur atât de uşor, gândi cu voce tare domnul Tompkins.

— Ei, socrul dumneavoastră şi ceilalţi fizicieni nucleariști! bombăni bătrânul clipind din ochi. Mă rog, ei pot transforma un element în altul, până la un punct. Dar cantităţile pe care

le obţin sunt atât de mici, încât nici nu poţi să le vezi. Haideţi să vă arăt cum procedează.

Acestea fiind zise, a luat un proton, l-a aruncat cu toată puterea spre nucleul de aur de pe masă. Când s-a apropiat de suprafaţa nucleului, protonul a încetinit puţin, a ezitat o clipă, apoi a plonjat înăuntru. După ce a înghiţit protonul, nucleul a tremurat pentru scurt timp, de parcă ar fi avut febră mare, şi în cele din urmă o mică parte din el s-a rupt cu un pocnet.

— Vedeţi, spuse el culegând fragmentul. Asta e ceea ce numesc ei o particulă alfa. Dacă o cercetaţi mai îndeaproape, veţi observa că e alcătuită din doi protoni şi doi neutroni. Asemenea particule sunt emise de obicei din nucleele grele ale aşa-ziselor elemente radioactive. Pot fi însă emise şi de nucleele stabile obişnuite, dacă sunt lovite suficient de puternic. Observaţi că fragmentul mare rămas pe masă nu mai e un nucleu de aur; a căpătat o sarcină pozitivă, dar a pierdut două atunci când a emis particula alfa, rezultatul fiind că în total a pierdut o sarcină pozitivă. Acum este un nucleu de platină, elementul precedent în tabelul periodic al elementelor. În unele cazuri însă, protonul care intră în nucleu nu provoacă ruperea în două părţi şi ca urmare veţi obţine nucleul care urmează în tabelul periodic după aur, adică nucleul de mercur. Combinând aceste procese şi altele asemănătoare, putem transforma orice element în oricare altul.

— Păi, atunci de ce nu transformă fizicienii cantităţi uriaşe de elemente comune, cum e plumbul, în altele mai preţioase, de pildă aur? întrebă domnul Tompkins.

— Fiindcă bombardarea nucleelor cu proiectile nu e un procedeu prea eficient. În primul rând, ei nu pot ţinti cu proiectilele lor aşa cum o fac eu. Le trebuie mii de încercări ca să lovească o dată nucleul. În al doilea rând, chiar dacă reuşesc să-l lovească, proiectilul poate ricoşa, în loc să pătrundă în nucleu. Aţi observat că, atunci când am aruncat protonul în nucleul de aur, el a ezitat un pic înainte de a intra. Pentru o clipă, am crezut că va fi respins, cum se întâmplă de multe ori.

— Ce anume împiedică proiectilele să pătrundă înăuntru? întrebă domnul Tompkins.

— Nu eu trebuie să vă spun *asta*, răspunse bătrânul cu reproş. Gândiţi-vă! Atât nucleul cât şi protonul care îl bombardează au sarcini electrice pozitive. Forţa de respingere dintre ele formează un fel de barieră. Nu e uşor pentru un proton să treacă de barieră. Dacă protonul proiectil reuşeşte să penetreze fortăreaţa nucleului, asta se întâmplă numai pentru că foloseşte un procedeu în genul calului troian; el trece *prin* pereţii nucleari, nu pe deasupra lor. Poate face asta în calitate de undă, nu de particulă.

Domnul Tompkins era cât pe ce să spună că nu pricepe nimic din ce-i spune bătrânul, când îşi dădu seama că, de fapt, probabil că înţelegea!

— Am văzut odată un joc de biliard tare ciudat, spuse el. Era o bilă. La început se afla în interiorul triunghiului de lemn. Apoi, brusc, a ieşit. Parcă s-ar fi „scurs" prin bariera de lemn. M-am speriat atunci la gândul că nişte tigri s-ar putea scurge în afara cuştii. Credeţi că e vorba de acelaşi gen de fenomen, doar că, în loc de bile de biliard sau tigri, avem de-a face cu un proton care se scurge în interior?

— Mie aşa mi se pare. Dar, să vă spun sincer, teoria nu e punctul meu forte. Eu sunt un om practic. Totuşi, e clar că aceste particule nucleare — dat fiind că sunt făcute din material cuantic — pot pătrunde prin obstacole despre care, în mod normal, crezi că sunt impenetrabile.

Îl privi cu atenţie pe domnul Tompkins.

— Acele bile de biliard nu cumva erau din fildeş cuantic veritabil?

— Ba da, răspunse domnul Tompkins. Am înţeles că proveneau din colţii unor elefanţi cuantici.

— Eh, asta-i viaţa, spuse bătrânul cu tristeţe. Ei folosesc asemenea materiale rare pentru jocuri, iar eu trebuie să cioplesc protoni şi neutroni, particulele fundamentale ale întregului univers, din simpli stejari cuantici! Dar, continuă el încercând să-şi

ascundă dezamăgirea, bietele mele jucării de lemn sunt probabil la fel de bune ca acele creaţii scumpe din fildeş. Haideţi acum să vă arăt cum trec ele prin orice fel de barieră.

Căţărându-se pe bancă, a luat de pe cel mai înalt raft un obiect cioplit, despre care domnul Tompkins a crezut la început că e modelul unui vulcan.

— Ce vedeţi aici, continuă cioplitorul suflând uşor praful, este modelul unei bariere tipice a forţelor repulsive ce înconjoară nucleul atomic. Pantele exterioare corespund respingerii electrice dintre sarcini, iar craterul corespunde forţelor de coeziune care ţin laolaltă particulele nucleare. Dacă dau bilei un bobârnac pe panta exterioară, însă nu suficient de puternic cât să ajungă pe creastă, e normal să presupuneţi că se va rostogoli înapoi. Dar haideţi să vedem ce se întâmplă...

I-a dat bilei un bobârnac uşor. După ce a urcat cam jumătate din pantă, s-a rostogolit înapoi pe masă.

— Şi ce-i cu asta? zise domnul Tompkins deloc impresionat.

— Staţi o clipă, spuse calm cioplitorul. Doar nu vreţi să reuşească de la prima încercare.

A trimis din nou bila pe pantă în sus, iar fără succes. Abia a treia dată a izbutit o lovitură norocoasă: bila a dispărut brusc după ce ajunsese pe la jumătatea pantei.

— Aha! exclamă triumfător cioplitorul, cu aerul unui magician. Abracadabra! Celebrul truc cu dispariţia. Ei, ce părere aveţi? Unde s-a dus?

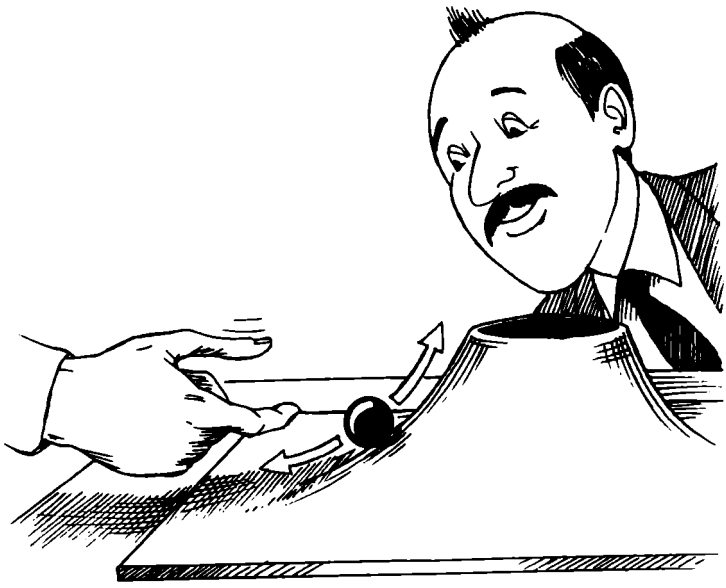
— În crater? încercă domnul Tompkins, nu prea sigur pe sine.

— Aşa cred şi eu. Ia să vedem...

Cercetă cu privirea interiorul craterului.

— Da, chiar aici e, spuse el scoţând bila. Haideţi să vedem acum şi fenomenul invers. Să vedem dacă bila poate ieşi din crater fără să se rostogolească peste creastă.

După ce a pus cu grijă bila la loc în crater, au aşteptat. Un timp nu s-a întâmplat nimic. Domnul Tompkins auzea bila ros-



A trimis din nou bila pe pantă în sus

togolindu-se încoace şi încolo în interior. Apoi, ca prin minune, bila a apărut brusc afară, pe la jumătatea pantei, şi s-a rostogolit încet pe masă.

— Ceea ce vedeţi acum este o reprezentare destul de bună a ceea ce se întâmplă într-o dezintegrare alfa, spuse cioplitorul.

Punând modelul înapoi în raft, adăugă:

— Uneori aceste bariere electrice sunt atât de „transparente" încât particulele evadează în fracţiuni de secundă; alteori sunt atât de „opace" încât durează miliarde de ani, ca în cazul nucleului de uraniu.

— Dar de ce nu sunt radioactive *toate* nucleele? întrebă domnul Tompkins.

— Pentru că la majoritatea nucleelor craterul se află sub nivelul exterior şi doar în cazul celor mai grele nuclee baza este suficient de ridicată ca să facă posibilă o asemenea evadare.

Cioplitorul s-a uitat la ceasul din perete.

— S-a făcut târziu. E timpul să închid prăvălia. Vă supăraţi dacă...

— Oh, îmi pare rău. N-am vrut să vă răpesc atâta timp, se scuză domnul Tompkins. A fost foarte interesant. O ultimă întrebare, dacă-mi permiteţi...

— Vă rog.

— Aţi spus că bombardarea nucleelor cu proiectile e o cale ineficientă de a transforma elementele comune în unele mai preţioase...

Cioplitorul zâmbi.

— Tot mai speraţi să faceţi avere din fizica nucleară?

Domnul Tompkins se simţea stingherit, dar continuă:

— Totuşi *dumneavoastră* nu păreţi să întâmpinaţi vreo dificultate, cu dispozitivul ăsta — şi arătă spre vas şi piston. Mă întrebam dacă nu cumva...

Cioplitorul zâmbi.

— Isteaţă treabă, numai că nu-i reală. Asta e problema. Nu, trebuie să acceptaţi că transmutarea metalelor în aur este, comercial vorbind, doar un vis. Acum mi-e teamă că e timpul să vă treziţi.

„Ce păcat!" gândi domnul Tompkins cu tristeţe.

— Am spus că e timpul să te trezeşti!

De data aceasta nu mai vorbea cioplitorul. Era Maud.

14 Goluri în nimic

Doamnelor şi domnilor,
În seara aceasta vom aborda un subiect fascinant: antimateria.

Primul exemplu de antiparticulă a fost pozitronul — electronul pozitiv despre care v-am vorbit lecţiile trecute. Trebuie remarcat că existenţa acestui nou tip de particulă a fost prezisă pe baza consideraţiilor pur teoretice. A durat câţiva ani buni până să fie detectat. De fapt, descoperirea experimentală a fost mult înlesnită de cunoaşterea proprietăţilor pe care era de aşteptat să le aibă.

Onoarea de a fi făcut aceste predicţii îi aparţine fizicianului britanic Paul Dirac. Folosind teoria relativităţii a lui Einstein şi încorporând cerinţele teoriei cuantice, el a dedus o formulă pentru energia E a unui electron. Către finalul calculelor a ajuns la o expresie pentru E^2. Astfel, ultimul pas pe care trebuia să-l facă era să extragă rădăcina pătrată din această expresie pentru a afla formula corespunzătoare lui E. Ca de obicei, atunci când extragi rădăcina pătrată, există două soluţii posibile: una pozitivă, iar cealaltă negativă. (De exemplu, rădăcina pătrată a lui 4 poate fi +2 sau –2). În rezolvarea problemelor de fizică obişnuim să ignorăm soluţia negativă, considerând-o „nefizică"; cu alte cuvinte, e luată drept un simplu adaos matematic lipsit de semnificaţie. În acest caz particular, soluţia negativă ar corespunde unui electron având energie negativă. Ţinând seama de faptul că, în conformitate cu teoria relativităţii materia este ea însăşi o formă de energie, un electron de energie negativă ar trebui să aibă *masă negativă*. Asta

ar fi într-adevăr straniu! Exerciţi o atracţie asupra unei asemenea particule, şi ea se îndepărtează de tine; încerci s-o împingi, şi ea se apropie — exact pe dos decât te-ai aştepta să se comporte o particulă „raţională" cu masă pozitivă. Acesta e, fără îndoială — te-ai putea gândi —, un motiv cât se poate de întemeiat pentru a considera soluţia negativă a ecuaţiei „nefizică". N-ai decât s-o ignori!

Geniul lui Dirac stă în faptul că *nu* a urmat această cale. În plus faţă de numărul infinit de stări cuantice de energie pozitivă pe care un electron le are la dispoziţie, el a considerat că soluţia negativă implică existenţa unui număr infinit de stări de energie negativă permise. Problema era că de îndată ce un electron s-ar fi aflat într-una din aceste stări, el ar fi trebuit să prezinte comportamentul caracteristic unei mase negative — iar, evident, aşa ceva n-a fost niciodată observat. Şi atunci, unde *sunt* aceşti ipotetici, bizari electroni cu masă negativă?

Am putea încerca mai întâi să ne eschivăm spunând că electronii pur şi simplu evită aceste stări particulare; dintr-un motiv oarecare, stările de acest tip rămân mereu goale. Dar explicaţia nu e bună. Ştim din teoria cuantică a stărilor energetice permise electronilor dintr-un atom că electronii au tendinţa naturală să emită energie prin radiaţie în exterior şi să cadă pe cea mai joasă stare energetică permisă (cu condiţia ca acea stare să fie liberă, adică să nu fie deja ocupată de un alt electron — în conformitate cu principiul de excluziune al lui Pauli). Aşa stând lucrurile, ne-am aştepta ca, în timp, *toţi* electronii să cadă din stările de energie pozitivă în stările de energie negativă. *Cu toţii* s-ar comporta rău!

Soluţia propusă de Dirac a fost cea mai ciudată cu putinţă. El a afirmat că motivul pentru care electronii pe care-i cunoaştem nu cad pe stările de energie negativă este că aceste stări sunt deja ocupate; numărul infinit de stări de energie negativă este ocupat de un număr infinit de electroni de masă negativă! Dacă într-adevăr aşa stau lucrurile, atunci de ce nu-i vedem? Tocmai fiindcă sunt atât de mulţi — ei formează un continuum

perfect. Electronii se află în „vid" într-o distribuţie absolut regulată şi uniformă.

Un continuum perfect nu e detectabil. Nu puteţi să arătaţi spre un punct şi să spuneţi: „Aici este." Este pretutindeni. Nu este „mai mult" într-o regiune decât în alta. Pe măsură ce vă mişcaţi prin el, nu creşte densitatea în faţă, lăsând un „gol" în urmă — ca atunci când se mişcă o maşină prin aer sau un peşte în apă. Nu există rezistenţă la mişcare...

În acest punct al lecţiei, domnul Tompkins simţea că i se învârte capul. Vidul — golul total — plin cu ceva! E de jur-împrejurul tău şi în interiorul tău, dar nu-l poţi observa!

A intrat într-o stare de reverie, visând la cum ar fi să fii peşte şi să-ţi petreci toată viaţa în apă. A simţit mângâierea plăcută a brizei marine — o zi numai bună să te arunci în valurile albastre. Aşa se face că s-a alăturat peştilor în lumea lor acvatică. Deşi era un bun înotător, de data asta a constatat însă că se scufundă din ce în ce mai adânc. Dar, ciudat lucru, nu suferea din pricina lipsei aerului şi se simţea în largul lui. Poate, cine ştie, o fi efectul vreunei mutaţii genetice, gândea el. Şi-a amintit că, după spusele paleontologilor, viaţa îşi avea originea în ocean, iar acei primi peşti care s-au aventurat pe uscat aveau şi branhii şi plămâni. S-au târât pe plajă sprijinindu-se pe aripioarele înotătoare. Conform biologilor, aceşti peşti cu plămâni au evoluat treptat în animale terestre ca şoarecii, pisicile şi oamenii. Dar unii dintre ei, între care balenele şi delfinii, după ce au cunoscut toate necazurile vieţii de pe uscat, s-au întors în ocean. Ajungând înapoi în apă, şi-au păstrat trăsăturile dobândite în timpul luptei cu viaţa terestră şi au rămas mamifere, femelele purtând puii în corp în loc să depună ouă care să fie apoi fertilizate de masculi.

În timp ce înota leneş şi avea astfel de gânduri a dat peste un cuplu tare ciudat: un bărbat care semăna tulburător cu Paul Dirac (domnul Tompkins l-a recunoscut după un diapozitiv pe care profesorul îl prezentase în cursul lecţiei) şi un delfin. Erau

„Apa“ mea e lipsită de frecare şi e pretutindeni uniformă

adânciţi în conversaţie. Asta nu l-a şocat prea tare pe domnul Tompkins; delfinii sunt renumiţi pentru inteligenţa lor.

— Ia ascultă, Paul, spuse delfinul, tu pretinzi că noi nu suntem acum în vid, ci într-un mediu material format din particule cu masă negativă. În ce mă priveşte, nu e nici o diferenţă între apă şi spaţiul gol; e perfect uniformă şi pot să mă mişc liber în toate direcţiile. În comunitatea noastră, a delfinilor, există o legendă moştenită de la stră-stră-stră-strămoşii noştri care spune că uscatul e foarte diferit. Există acolo munţi şi văi imposibil de străbătut fără efort. Dar aici în apă ne putem mişca în ce direcţie vrem.

— Ai dreptate, prietene, răspunse Dirac. Apa exercită o frecare la suprafaţa corpului tău; asta te ajută să fii stăpân pe situaţie în apă. Poţi crea diferenţe de presiune, după cum îţi mişti înotătoarele şi coada. Asta te ajută să înoţi, să te mişti încolo

şi încoace. Dar dacă apa n-ar avea frecare şi dacă n-ar exista gradienţi de presiune pentru că apa ar fi pretutindeni perfect uniformă, atunci ai fi la fel de neajutorat ca un astronaut căruia i s-a terminat combustibilul. Apa „mea", care e alcătuită din electroni cu masă negativă, este ceva cu totul diferit. E complet lipsită de frecare şi e pretutindeni uniformă — de aceea e imposibil de observat. Altă diferenţă e că nu i se poate adăuga nici măcar un singur electron. Aceasta din cauza principiului de excluziune al lui Pauli (care, dacă îţi aminteşti, interzice ca mai mult de doi electroni cu spini opuşi să ocupe aceeaşi stare cuantică). În „apa" mea toate nivelele cuantice posibile sunt deja ocupate. Orice electron suplimentar trebuie să rămână *deasupra* suprafeţei oceanului. Asta înseamnă că are masa pozitivă normală şi se comportă ca un electron normal.

— Dar, insistă delfinul, dacă oceanul tău e inobservabil din cauza continuităţii lui şi a absenţei frecării, ce sens mai are să vorbim despre el?

— Ei bine, răspunse Dirac, să presupunem că nişte forţe externe ridică unul dintre electronii cu masă negativă din adâncurile oceanului până deasupra suprafeţei. În acest caz, numărul electronilor observabili va creşte cu unul. Dar nu numai atât, şi golul din ocean, de unde a fost scos electronul, va deveni acum observabil.

— Ar fi ca bulele de aer de-aici, sugeră delfinul. Ca asta, continuă el arătând spre o bulă ce ieşea încet din adâncuri şi îşi făcea drum către suprafaţă.

— Exact, confirmă Dirac. În lumea mea nu numai că am putea vedea electronul care a fost săltat într-o stare de energie pozitivă, dar am putea vedea şi gaura rămasă în vid. Golul este *absenţa* a ceva ce a fost înainte. Astfel, de pildă, electronul iniţial avea o sarcină electrică negativă; absenţa acestei sarcini negative într-o distribuţie uniformă va fi percepută ca prezenţa unei cantităţi egale de sarcină pozitivă. Iar absenţa masei sale negative ar fi percepută drept o masă pozitivă — aceeaşi masă ca a electronului iniţial, dar pozitivă. Cu alte cuvinte, golul se

comportă ca o particulă perfect normală şi raţională. Se comportă ca un electron, numai că are o sarcină electrică pozitivă în locul obişnuitei sarcini negative. De aceea se numeşte pozitron. Prin urmare, asta trebuie să căutăm: *producerea de perechi* — apariţia simultană a unui electron şi a unui pozitron în acelaşi punct din spaţiu.

— Isteaţă teorie! remarcă delfinul. Dar o fi şi adevărată...?

— Trecem la următorul diapozitiv.

Bine cunoscuta voce autoritară a profesorului întrerupse reveria domnului Tompkins.

După cum spuneam, singura cale de a detecta continuumul ar fi să-l *perturbaţi* cumva. Atunci n-ar mai fi un continuum perfect. Dacă aţi crea un gol în el, aţi putea spune „continuumul e pretutindeni — dar nu şi *aici*". Asta este, doamnelor şi domnilor, exact ce a propus Dirac: faceţi o gaură în spaţiul vid. Iar această imagine vă arată că s-a făcut!

E o fotografie luată într-o cameră cu bule. Ar trebui poate să vă spun că o cameră cu bule este un detector de particule asemănător camerei cu ceaţă a lui Wilson — dar care funcţionează invers. A fost inventată de fizicianul american Donald Glaser, care a primit pentru această realizare premiul Nobel în 1960. După propria lui mărturisire, stătea odată într-un bar şi urmărea melancolic bulele care se ridicau în sticla de bere din faţa lui. Brusc, i-a venit în minte o idee: dacă Wilson a putut studia picăturile de lichid dintr-un gaz, de ce n-am studia bulele de gaz dintr-un lichid? În loc să dilatăm un gaz pentru a crea vapori suprasaturaţi care să încerce să se condenseze, de ce n-am scădea presiunea într-un lichid astfel încât să devină supraîncălzit şi să încerce să fiarbă? Chiar acesta e principiul camerei cu bule: marchează urmele particulelor subatomice încărcate prin dâre de bule.

Acest diapozitiv arată producerea a două perechi de electron–pozitron. O particulă încărcată intră în partea de jos a ima-

ginii. Ea suferă o interacţie în punctul unde vedeţi că traiectoria e deviată. În urma acestei interacţii apare nu numai particula încărcată care îşi continuă drumul spre dreapta, ci şi o particulă neutră care se dezintegrează rapid în două raze gama de energie înaltă. Nu puteţi vedea nici această a doua particulă, nici razele gama pe care le produce, deoarece sunt neutre electric şi nu lasă nici o dâră de bule. Dar apoi cele două raze gama dau naştere câte unei perechi electron–pozitron — configuraţia de dâre în formă de V din partea de sus a figurii. Observaţi că ambele V-uri au vârful îndreptat în jos, spre locul interacţiei iniţiale.

Au vârful îndreptat în jos, spre locul interacţiei iniţiale

Observaţi de asemenea că toate urmele sunt sistematic curbate într-o parte sau alta. Aceasta se întâmplă datorită faptului că un câmp magnetic intens, îndreptat perpendicular pe imagine, acţionează asupra întregii camere cu bule. El face ca traiectoria particulelor încărcate electric negativ să se curbeze în sensul acelor de ceasornic, aşa cum privim imaginea, iar cea a particulelor pozitive în sens opus. După ce v-am spus toate acestea, puteţi acum distinge pozitronul de electron în fiecare pereche. Motivul pentru care unele urme sunt mai curbate decât altele este că gradul de curbură depinde de impulsul particulei; cu cât particula are un impuls mai mic, cu atât curbura este mai mare. Cred că începeţi să vă daţi seama că o fotografie luată într-o cameră cu bule e plină de informaţii despre ce se petrece acolo!

Acum, după ce aţi văzut cum se creează goluri în vid, sunteţi fără îndoială curioşi să aflaţi ce se întâmplă cu ele după aceea...

De fapt, nu era chiar lucrul care să-l preocupe pe domnul Tompkins. Gândurile îi zburaseră deja la vremea când şi el fusese un electron. Şi-a amintit cu spaimă cum a trebuit să evite pozitronul fioros. Profesorul însă îşi vedea mai departe de lecţie:

...Pozitronul continuă să se comporte ca o particulă normală — până când întâlneşte un electron obişnuit, încărcat negativ. Electronul cade imediat în gaură, umplând-o. Continuumul este refăcut, iar atât electronul, cât şi gaura dispar. Numim acest proces *anihilarea reciprocă* a electronului pozitiv şi a celui negativ. Energia eliberată în această „cădere" e emisă sub formă de fotoni.

Aş dori să subliniez faptul că până acum am considerat că electronii negativi se află deasupra nivelului oceanului lui Dirac, iar pozitronii sunt goluri în ocean. Putem însă inversa perspectiva şi considera electronii ca goluri, iar pozitronii ca particulele aflate deasupra nivelului mării. Ambele reprezentări sunt perfect echivalente atât din punct de vedere fizic, cât şi matematic.

Dar nu numai electronul are o *antiparticulă* — aşa cum am numit noi pozitronul. Corespunzător protonului, există un *antiproton*. După cum vă aşteptaţi, el are exact aceeaşi masă cu cea a protonului, dar sarcină electrică de semn opus; cu alte cuvinte, antiprotonii au sarcină electrică negativă. Antiprotonul poate fi privit ca o gaură în alt tip de continuum — unul constituit de data aceasta dintr-un număr infinit de protoni de masă negativă. De fapt, *toate* particulele au antiparticule. Vidul conţine într-adevăr o mulţime de lucruri!

O întrebare care poate că v-a trecut prin minte este de ce în lumea pe care o cunoaştem există o asemenea preponderenţă a materiei în raport cu antimateria. La această întrebare extrem de interesantă e foarte greu de răspuns. De fapt, din moment ce atomii alcătuiţi din electroni pozitivi care înconjoară nuclee negative ar avea exact aceleaşi proprietăţi optice ca şi atomii obişnuiţi, prin metode spectroscopice nu putem

afla dacă stelele îndepărtate sunt constituite din materie sau din antimaterie. Din câte ştim, nu e exclus ca Marea Nebuloasă Andromeda, de pildă, să fie alcătuită din această materie pe dos. Singura metodă de-a o dovedi ar fi să aducem o bucată de materie de acolo şi să vedem dacă se anihilează la contactul cu materia terestră. (Bineînţeles, ar avea loc o explozie teribilă!)

Numai că nu avem nevoie să pornim într-o misiune atât de periculoasă. Vedem destul de des galaxiile ciocnindu-se între ele. Dacă una ar fi constituită din materie, iar cealaltă din antimaterie, cantitatea de energie eliberată de electronii unei galaxii anihilându-se cu pozitronii celeilalte ar fi într-adevăr spectaculoasă. Observaţiile de până acum nu sugerează că s-ar întâmpla aşa ceva. Pare destul de sigură afirmaţia că în universul nostru materia este doar de un singur tip. E foarte greu de presupus ca jumătate din galaxii să fie alcătuite din materie, iar cealaltă jumătate din antimaterie.

Recent s-a sugerat că la începutul universului ar fi putut exista cantităţi egale de materie şi antimaterie. Dar apoi, la puţin timp după big bang, interacţiile au favorizat-o pe una în detrimentul celeilalte. Acest comportament ulterior a condus la dezechilibrul actual. Dar deocamdată e doar o ipoteză.

15 Vizitând „spărgătorul de atomi“

Domnul Tompkins reușea cu greu să-și stăpânească emoția. Profesorul aranjase ca o parte a cursanților să viziteze unul dintre cele mai celebre laboratoare de fizica energiilor înalte. Urmau să vadă un spărgător de atomi!

În săptămânile dinaintea vizitei fiecare dintre ei primise o broșură. Domnul Tompkins o citise conștiincios din scoarță în scoarță. Nu pricepuse mai nimic. Mintea îi era complet în ceață: un talmeș-balmeș de idei despre cuarci, gluoni, stranietate, energie care se schimba în materie și marea teorie unificată care explică totul — dar nu și pentru el.

Când au ajuns la centrul pentru vizitatori au fost invitați într-o sală de așteptare. N-a durat mult până când și-a făcut apariția ghidul. O tânără cu ochi strălucitori și figură serioasă, pe la vreo douăzeci și cinci de ani, le-a urat bun venit și s-a prezentat ca dr Hanson, membru al uneia din echipele de cercetare.

— Înainte de a merge la accelerator, aș dori să vă spun câteva cuvinte despre ce facem noi aici.

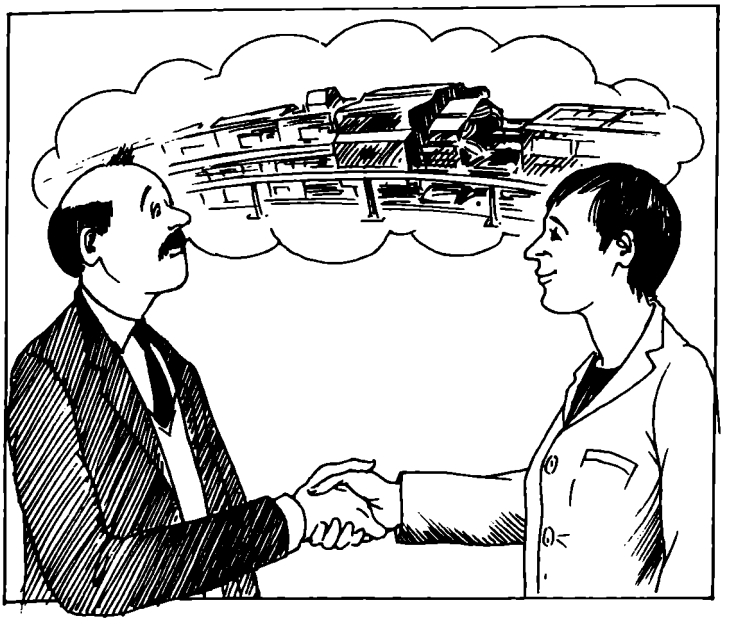
Un om a ridicat timid mâna.

— Vă rog, spuse dr Hanson. Vreți să întrebați ceva?

— Ați spus „accelerator“. Dar ce se aude cu spărgătorul de atomi? Nu-l putem vedea și pe acela?

Ghidul a avut o ușoară grimasă.

— Tocmai despre asta vorbeam. Instalația — acceleratorul — este ceea ce ziarele numesc „spărgătorul de atomi“. Noi însă nu-i spunem așa. Ar putea duce la confuzii. La urma ur-



Membru al uneia din echipele de cercetare

mei, dacă vrei doar să spargi un atom, ajunge să dai afară câțiva electroni. E simplu. Chiar și să spargi nucleul atomului e relativ ușor, cel puțin în comparație cu ce facem noi aici. Noi îi spunem deci „accelerator de particule“. Alte întrebări? Vă rog, îndrăzniți...

După ce s-a uitat de jur-împrejur a continuat:

— Bun. Scopul general este să înțelegem cele mai mici bucăți de materie și ce anume le ține laolaltă. Așa cum știți fără îndoială, materia e alcătuită din molecule, moleculele din atomi, iar atomii se compun din nucleu și electroni. Electronii se crede că sunt elementari — cu alte cuvinte nu sunt alcătuiți din constituenți încă și mai mici. Dar cu nucleul nu se întâmplă la fel; nucleul e format din protoni și neutroni. Toate astea vă sunt cunoscute, nu-i așa?

Grupul a aprobat.

— Următoarea întrebare ar trebui deci să fie...

— Din ce sunt alcătuiți protonii și neutronii? sugeră o doamnă.

— Exact. Și cum credeți că putem afla?

— Îi spargem? îndrăzni din nou doamna.

— Într-adevăr. Pare să fie calea cea bună. Aflăm care e structura moleculelor, apoi a atomilor, apoi a nucleelor bombardându-le cu proiectile și rupându-le în fragmente. Prin urmare, începem prin a accelera particule, protoni sau electroni, la energii mari și apoi le ciocnim de protoni. Astfel sperăm să desfacem protonul în părțile lui componente. Și ce se întâmplă? Se sparge protonul? Nici vorbă. Indiferent cât de multă energie are proiectilul, protonul nu se desface *niciodată*. Dar se întâmplă altceva, ceva absolut remarcabil: ciocnirea duce la crearea de noi particule, particule care nu existau acolo la început. De pildă, dacă ciocnești doi protoni poți obține în final doi protoni și în plus o altă particulă, așa-numitul pion sau particula π. Are masa de 273,3 ori mai mare decât masa electronului, sau 273,3 m_e. Scriem...

Dr Hanson s-a dus la tablă și a scris:

$$p + p \rightarrow p + p + \pi$$

Un bărbat mai în vârstă a ridicat imediat mâna.

— Dar așa ceva nu se poate, declară el încruntându-se. E mult timp de când am învățat fizică la școală, dar un lucru țin și eu minte: materia nu poate fi nici creată, nici distrusă.

— Mi-e teamă că trebuie să vă contrazic. Ce ați învățat dumneavoastră la școală e greșit! spuse dr Hanson provocând hohote de râs. Mă rog, nu *cu totul* greșit, se grăbi ea să adauge. Nu putem crea materie din *nimic*. Asta rămâne valabil. Numai că noi creăm materie din energie. Faimoasa ecuație a lui Einstein

$$E = mc^2$$

ne-o permite. Presupun că ați mai întâlnit-o.

Cursanții se priveau unii pe alții nedumeriți.

— Sunt sigur că am *auzit* cu toţii de ea, îşi luă domnul Tompkins inima în dinţi. Nu sunt însă convins că a apărut până acum în curs.

— Ei bine, e o consecinţă a teoriei relativităţii a lui Einstein, începu să explice dr Hanson. Conform lui Einstein, e imposibil să accelerezi o particulă la viteze mai mari decât viteza luminii. Ca să înţelegeţi, gândiţi-vă la masă. Pe măsură ce particula se mişcă mai repede, masa ei creşte, făcând tot mai dificilă orice accelerare ulterioară.

— Da, da, ni s-a vorbit despre *asta*, spuse domnul Tompkins încântat.

— Excelent, răspunse ea. În acest caz, tot ce trebuie să înţelegeţi este că particula accelerată devine nu doar mai masivă, ci are şi mai multă energie. Ecuaţia $E = mc^2$ ne arată că această energie E are o masă m asociată cu ea. (c este viteza luminii şi e inclusă ca să putem scrie masa în aceleaşi unităţi ca energia.) Astfel, pe măsură ce particula e accelerată şi capătă mai multă energie, trebuie să ia la bord atâta masă câtă corespunde acelei energii. Masa suplimentară se datorează energiei suplimentare pe care o are acum.

— Dar nu înţeleg, insistă bătrânul. Spuneţi că masa suplimentară provine din energia suplimentară. Dar particula are masă şi atunci când e în repaus, atunci când *nu are deloc* energie.

— Bună remarcă. Trebuie să vă aduceţi aminte că energia există în forme diferite: energie termică, energie cinetică de mişcare, energie electromagnetică, energie potenţială gravitaţională etc. Faptul că o particulă în repaus are masă arată că *materia însăşi* e o formă de energie: „energie zăvorâtă“ sau „congelată“. Masa unei particule în repaus este masa energiei sale zăvorâte. Revenind de unde am pornit, ceea ce se întâmplă în această ciocnire este că o parte din energia cinetică a proiectilului se transformă în energie zăvorâtă — energia zăvorâtă a noului pion. Avem în continuare exact aceeaşi cantitate de energie — şi de masă — după ciocnire, ca şi înainte, dar acum o parte din energie se află sub o altă formă. Aţi înţeles?

Toată lumea a încuviinţat.

— Bun. Deci am creat un pion. Acum vom repeta experimentul. Urmărim o mulțime de ciocniri. Ce descoperim e că nu putem crea noi particule de orice masă: 273,3 m_e da, dar niciodată 274 m_e sau 275 m_e, de pildă. Există particule mai grele, dar ele apar numai la anumite mase permise. De exemplu, există o particulă K având o masă de 966 m_e, adică aproximativ jumătate din masa protonului. Există particule chiar mai grele decât protonul, cum ar fi particula Λ (lambda) la 2183 m_e. De fapt, există acum peste 200 de particule cunoscute, împreună cu antiparticulele lor. Ne așteptăm ca numărul lor să fie nelimitat. Ceea ce putem obține depinde de cantitatea de energie disponibilă în ciocnire. Cu cât vom avea mai multă energie, cu atât vor fi mai grele particulele pe care le vom putea produce. Buuun... După ce am creat aceste noi particule, ne uităm la ele, le examinăm proprietățile. Asta nu înseamnă că ne-am pierdut interesul pentru prima noastră întrebare — din ce este alcătuit protonul? Sigur că nu. Cheia înțelegerii structurii protonului se dovedește însă a se găsi chiar în studiul acestor noi particule și nu în încercarea de a sparge protonul în părțile sale componente. Semnificativ e faptul că toate aceste noi particule sunt veri buni cu protonul. Știți că uneori aflăm câte ceva despre un om cunoscându-i familia. La fel se întâmplă și aici; putem căpăta informații despre structura protonului sau neutronului, studiindu-le rudele... Și ce anume găsim? Ei bine, după cum vă așteptați, noile particule sunt caracterizate prin proprietățile obișnuite: masă, impuls, energie, moment cinetic de spin și sarcină electrică. Dar, în plus față de acestea, au și *noi* proprietăți, proprietăți pe care protonul și neutronul nu le posedă — proprietăți numite „stranietate" și „farmec". Nu vă speriați de denumirile acestea ciudate: fiecare proprietate are o definiție riguros științifică.

Cineva din grup a ridicat mâna.

— Ce vreți să spuneți prin „noi proprietăți"? Despre ce fel de proprietăți e vorba? Cum le recunoașteți?

— Iată o întrebare foarte bună, spuse dr Hanson, după care făcu o scurtă pauză. Am să încerc să vă explic. Să începem cu

proprietăţile care vă sunt cunoscute. Haideţi să considerăm o reacţie care produce un pion neutru, sau particula pi zero:

$$p^+ + p^+ \rightarrow p^+ + p^+ + \pi^0 \qquad \text{(i)}$$

Aici indicele de sus se referă la sarcina electrică a particulei. Evident, n-ar mai trebui pus semnul + deasupra lui p, fiindcă toată lumea ştie că protonul are o sarcină electrică pozitivă. Dar, pentru motive care se vor lămuri mai târziu, vreau să-l pun. Avem încă două reacţii, una producând un pi minus, cealaltă un pi zero:

$$p^+ + n^0 \rightarrow p^+ + p^+ + \pi^- \qquad \text{(ii)}$$

$$\pi^- + p^+ \rightarrow n^0 + \pi^0 \qquad \text{(iii)}$$

unde simbolul n^0 se referă la un neutron. Toate aceste reacţii se petrec. Următoarea însă nu are loc niciodată:

$$p^+ + n^+ \not\rightarrow p^+ + p^+ + \pi^- \qquad \text{(iv)}$$

Ce părere aveţi despre acest caz? De ce primele trei sunt posibile, iar a patra nu?

— E în legătură cu faptul că sarcinile electrice nu sunt în regulă? întrebă unul dintre studenţii tineri. În cea de-a patra reacţie aveţi două sarcini electrice pozitive în stânga şi în dreapta două pozitive şi una negativă. Nu se echilibrează.

— Exact. Sarcina electrică este o proprietate a materiei şi trebuie să se conserve. Totalul sarcinii electrice dinainte de reacţie trebuie să fie egal cu totalul sarcinii electrice de după reacţie, lucru care nu se întâmplă în cea de-a patra. Bun, asta era aproape evident. Dar priviţi acum această reacţie. Implică două din aceste noi particule, lambda zero şi ka plus:

$$\pi^+ + n^0 \rightarrow \Lambda^+ + K^+ \qquad \text{(v)}$$

Această reacţie se poate produce. Următoarea însă nu se produce niciodată:

$$\pi^+ + n^0 \not\rightarrow \Lambda^0 + K^+ + n^0 \qquad \text{(vi)}$$

Dacă doriţi să produceţi această combinaţie finală de particule, trebuie să începeţi altfel:

$$p^+ + n^0 \rightarrow \Lambda^0 + K^+ + n^0 \qquad \text{(vii)}$$

Dar dacă începeţi cu această combinaţie iniţială, iată ce reacţie nu se produce:

$$p^+ + n^0 \not\rightarrow \Lambda^0 + K^+ \qquad \text{(viii)}$$

Aceasta în ciuda faptului că din punct de vedere energetic ar fi mai uşor să se producă ($\Lambda^0 + K^+$) decât ($\Lambda^0 + K^+ + n^0$). Deci întrebarea este: ce anume împiedică să se producă reacţiile (vi) şi (viii)?

După ce îi privi pe cursanţi cu atenţie întrebă:

— E ceva în neregulă de data asta cu conservarea sarcinii electrice?

Au negat, dând din cap.

— Nu, deci nu e asta. Sarcina electrică e conservată. Aveţi alte idei?

Toţi priveau în gol.

— Bun. E momentul să prezentăm o nouă proprietate. O vom numi *număr barionic*. Denumirea vine de la cuvântul grec care înseamnă „greu". O vom nota cu litera *B*. Vom atribui particulelor următoarele valori:

n^0, p^+, Λ^0 au toate $B = +1$ unitate
π^0, π^+, π^- şi K^+ au $B = 0$

Vom numi primul grup de particule „barioni", iar pe al doilea „mezoni" — de la cuvântul grecesc care înseamnă „mijlociu". (Poate că ar fi cazul să menţionez că mai există şi alte particule, cum ar fi electronii, care sunt uşoare şi se numesc „leptoni".) Buuun. După ce am atribuit valorile pentru *B*, propunem ca *B* să se conserve: numărul barionic total înainte şi după ciocnire trebuie să fie acelaşi. Ţinând cont de toate acestea, să privim din nou la reacţiile de mai înainte. Verificaţi că toate cele care se pot produce conservă pe *B*, în timp ce celelalte nu-l conservă.

După un minut sau două, concentraţi să adune şi să scadă, studenţii au început să aprobe.

— Bun. Deci neconservarea lui *B* este de vină pentru faptul că acele reacţii nu sunt permise. Imposibilitatea realizării acelor reacţii ne-a condus către existenţa unei noi proprietăţi, *B*. În plus, am aflat ceva despre această proprietate: ea trebuie să se conserve în ciocnire — exact la fel ca sarcina electrică, sau energia, sau impulsul etc.

Studenţii erau evident mulţumiţi de aceste explicaţii. Dar nu şi domnul Tompkins care stătea cu braţele încrucişate şi cu o expresie sceptică întipărită pe figură. Dr Hanson a observat.

— E ceva în neregulă? Aveţi vreo întrebare?

— Nu e chiar o întrebare. E mai curând un comentariu. Sincer, nu sunt convins. De fapt, dacă îmi daţi voie să mă exprim aşa, totul mi se pare o escrocherie!

— Escrocherie? întrebă ea derutată. Nu înţeleg, îmi pare rău... Ce vreţi să spuneţi?

— Valorile numerelor barionice ale acestor particule. De unde le-aţi scos? Am impresia că le-aţi ales tocmai ca să obţineţi rezultatul dorit. Le-aţi aranjat aşa încât să aibă valorile corecte în reacţiile permise, iar în celelalte nu.

Colegii de curs ai domnului Tompkins se uitau la el surprinşi. Cum îndrăznea? Dar tensiunea se risipi imediat, fiindcă dr Hanson izbucni în râs.

— Foarte bine. Absolut adevărat. Chiar ăsta e felul în care aflăm ce număr barionic să atribuim. Vedem care reacţii au loc şi care nu şi facem atribuirile în aşa fel încât să se potrivească. Dar e mai mult decât atât. Dacă n-ar fi, am pierde timpul de pomană. Esenţial e următorul lucru: odată ce am folosit câteva reacţii ca să aflăm ce numere barionice atribuim diferitelor particule, putem continua prin a face predicţii asupra *altor* reacţii care ar putea sau nu să aibă loc — sute şi sute de predicţii.

Domnul Tompkins tot nu era convins.

— Haideţi s-o luăm altfel. Într-o zi, o echipă de cercetare anunţă o mare descoperire. Au găsit o nouă particulă încărcată negativ. O numesc X^-. A fost găsită în reacţia

$$p^+ + n^0 \rightarrow p^+ + p^+ + n^0 + X^- \qquad \text{(ix)}$$

Ce valoare a lui *B* are?

După puţină aritmetică, studenţii au început să murmure: „Minus 1?"

— Corect. *B* total în stânga este +2, iar în dreapta avem doi protoni şi un neutron, care dau $B = +3$. Astfel, ca să egalăm cei doi membri, X^- trebuie să aibă $B = -1$. Bun, deci am „folosit" aceste reacţii ca să găsim valoarea lui *B*. Asta e „escrocheria", spuse ea privind spre domnul Tompkins. Cercetătorii merg mai departe şi spun acum că particula X^- trebuie, imediat după ce este produsă, să dea următoarea reacţie:

$$X^- + p^+ \rightarrow p^+ + p^+ + \pi^- + \pi^- \qquad (x)$$

Sunteţi de acord?

Studenţii au aprobat automat. Dar, după ceva discuţii purtate în şoaptă, câţiva au început să nege.

— Ce se întâmplă? i-a întrebat dr Hanson. Nu credeţi că e bine?

Alte discuţii. Apoi, unul dintre ei a explicat că, dacă *B* pentru X^- este într-adevăr -1, aşa cum s-a spus anterior, atunci valoarea totală a lui *B* înainte şi după reacţie nu se echilibrează. Asta înseamnă că reacţia *nu* poate avea loc.

— Excelent! Perfect adevărat. Era o glumă! În realitate, X^- suferă următoarea reacţie:

$$X^- + p^+ \rightarrow \pi^- + \pi^- + \pi^+ + \pi^+ + \pi^0 \qquad (xi)$$

Aceasta, puteţi verifica, *este* echilibrată. Prin urmare, aţi folosit ideea de număr barionic pentru a face o *predicţie* — predicţia că reacţia (x) nu poate avea loc. În asta constă forţa ideii de număr barionic.

Întorcându-se către domnul Tompkins, îl întrebă:

— Acum sunteţi mulţumit?

El zâmbi şi încuviinţă dând din cap.

— De fapt, continuă ea, X^- este un antiproton — reprezentat de obicei ca $\bar{p}$. Antiprotonul are aceeaşi masă ca protonul, dar sarcină electrică şi număr barionic *B* opuse. Reacţia (xi) este modul tipic în care se anihilează reciproc protonul şi an-

tiprotonul. Iar acum, că am prins ideea, haideți să vedem următoarea reacție. Ea nu are loc niciodată:

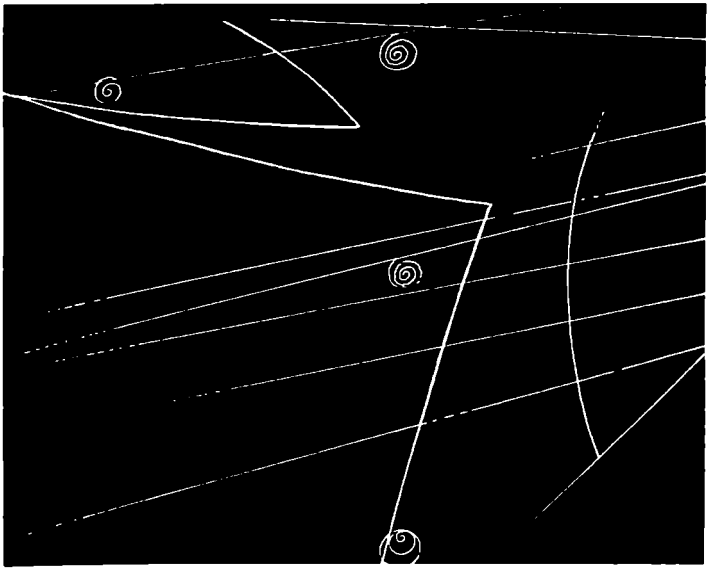
$$K^+ + n^0 \not\rightarrow \pi^+ + \Lambda^0 \qquad \text{(xii)}$$

Dacă veți verifica sarcina electrică și numărul B total de ambele părți, calculul va arăta că totul e în regulă. Dar, așa cum am spus, această reacție nu are loc niciodată. Ce credeți că ar putea fi?

— E vorba cumva de vreo altă proprietate? sugeră Maud.

— Da. Exact. O numim *stranietate* și o notăm cu s. K^+ are $s = +1$; p^+, n^0 π^-, π^0 și π^+ au $s = 0$; iar Λ^0 și K^- au $s = -1$.

Observați, vă rog, că materia normală — protonii și neutronii — nu are stranietate. Astfel, pentru a crea o particulă cu stranietate, trebuie să creați mai mult de una în același timp: o particulă cu $s = +1$ și o particulă cu $s = -1$ (ca în reacțiile (v) și (vii)). În felul acesta, adunând cele două valori ale lui s



Un eveniment de producere asociat

obţinem zero, ca în membrul stâng. Atunci când au fost găsite primele exemple de asemenea noi particule — înainte de a fi cunoscut numărul *s* şi conservarea sa — s-a considerat ciudat, sau straniu, faptul că ele erau produse întotdeauna împreună, în mod asociat; de aici denumirea de „stranietate". Dacă nu mă înşel, cred că în broşură aveţi imaginea unui eveniment de producere asociat. Puteţi arunca o privire asupra sa. În orice caz, după descoperirea stranietăţii, au mai fost identificate şi alte proprietăţi: *charm* (farmec), *top* (vârf) şi *bottom* (bază).

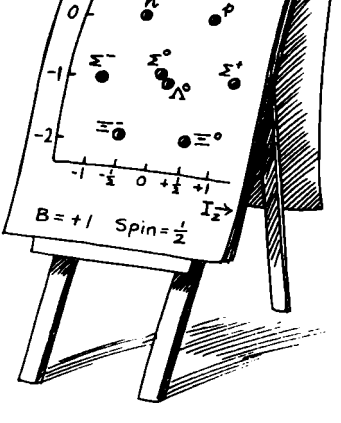
Astfel, am aflat că fiecare particulă implicată în aceste ciocniri vine cu un set caracteristic de proprietăţi. De exemplu, protonul are sarcina electrică $Q = +1$, $B = +1$, $s = 0$, şi de asemenea zero pentru charm, top şi bottom.

Dar fără îndoială că vă întrebaţi ce legătură există între toate acestea şi încercarea de a găsi structura internă a protonilor şi neutronilor? După cum v-am spus mai devreme, putem afla din ce sunt alcătuiţi protonii şi neutronii cercetând rudele lor apropiate — aceste noi particule. În acest stadiu începe munca noastră de detectivi. Ideea de bază este să grupăm laolaltă particulele care au anumite proprietăţi comune: acelaşi *B*, acelaşi spin etc. Apoi le aranjăm în funcţie de valorile lor pentru alte două proprietăţi. Acestea sunt *s*, despre care tocmai am vorbit, şi ceva numit *spin izotopic*, notat cu I_z. Denumirea provine de la cuvântul „izotop", care înseamnă „aceeaşi formă". Se referă la faptul că anumite particule sunt atât de asemănătoare între ele — având aceleaşi interacţii tari şi mase aproape identice —, încât avem tendinţa să le privim ca pe manifestări diferite ale aceleiaşi particule. De exemplu, protonul şi neutronul sunt priviţi ca două forme ale aceleiaşi particule, nucleonul. Într-una din forme nucleonul are sarcina electrică $Q = +1$, iar în cealaltă $Q = 0$. În termeni de spin izotopic, ei au valorile $I_z = +1/2$ şi respectiv $I_z = -1/2$. (Partea „spin" din denumire vrea să spună că din punct de vedere matematic spinul izotopic se comportă la fel ca spinul obişnuit.)

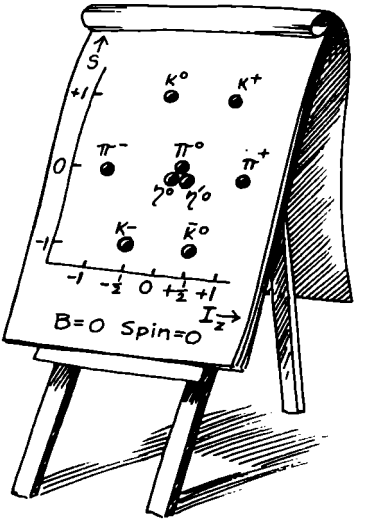
O cale de a defini I_z este prin relația $I_z = Q - \bar{Q}$, unde Q este sarcina electrică a particulei, iar $\bar{Q}$ este sarcina medie a multipletului de care aparține particula. De exemplu, cu Q fiind +1 pentru p și 0 pentru n, sarcina medie pentru dubletul nucleonilor este $\bar{Q} = 1/2\ (1 + 0)$. Aceasta înseamnă că I_z pentru p este $I_z = 1 - 1/2 = + 1/2$, iar pentru n, $I_z = 0 - 1/2 = - 1/2$. Iar acum vom lua particulele care au anumite proprietăți în comun și le vom aranja după valorile individuale ale lui s și I_z. Iată, de exemplu...

Dr Hanson a schițat un grup de particule.

— Avem aici una din schemele pe care le obținem: o grupare de opt barioni, fiecare având $B = +1$ și spin 1/2. Observați forma hexagonală, cu două particule în centru. După cum vedeți, ea conține neutronul și protonul. Odată aranjate astfel particulele, începem să recunoaștem că neutronul și protonul nu sunt decât doi membri ai unei familii de opt.



A schițat un grup de particule



Aceeaşi formă hexagonală

— Acum priviţi la aceasta...

A desenat o a doua figură.

— Aceasta e familia mezonilor cu $B = 0$, spin = 0, care conţine pionul. Are exact aceeaşi formă hexagonală ca aceea dinainte, constând din nou dintr-un octet, dar având în plus o particulă singlet în centru.

Bun. Ce ne spun toate astea? E doar o simplă coincidenţă faptul că se repetă aceeaşi formă? Nu. Pentru un matematician această formă are o semnificaţie specială. Ea provine dintr-o ramură a matematicii numită „teoria grupurilor" — un tip de matematică având până recent puţine aplicaţii în fizică, în afară de descrierea simetriei cristalelor. Numim aceasta „o reprezentare a SU(3)". „SU" vine de la transformări de grup Unitare Speciale şi descrie natura simetriei. „3" se referă la simetria de ordinul trei la rotaţie. (Obţinem aceeaşi figură la rotaţii cu 120°, 240° şi 360°.)

Pe lângă faptul că se leagă de forma hexagonală a octetului, aceeaşi teorie SU(3) ne conduce spre alte forme cu sime-

trii de ordinul trei la rotație. Cea mai simplă este un singlet. Mezonii ne dau atât singletul, cât și octetul. Apoi mai avem un decuplet format din figuri triunghiulare...

În acest punct dr Hanson a fost întreruptă de un ciocănit în ușă. I s-a adus un bilet.

— Bun. Microbuzul nostru a sosit. Mi-e teamă că trebuie să închei aici scurta mea lecție. Îmi pare rău, dar sunt sigură că în lecțiile viitoare vi se va vorbi despre reprezentările SU(3).

Drumul până la destinație a durat destul de mult. La coborârea din microbuz, s-au aflat în fața unei clădiri cu un aspect foarte modest.

— *Aici* e acceleratorul? întrebă domnul Tompkins, ușor decepționat.

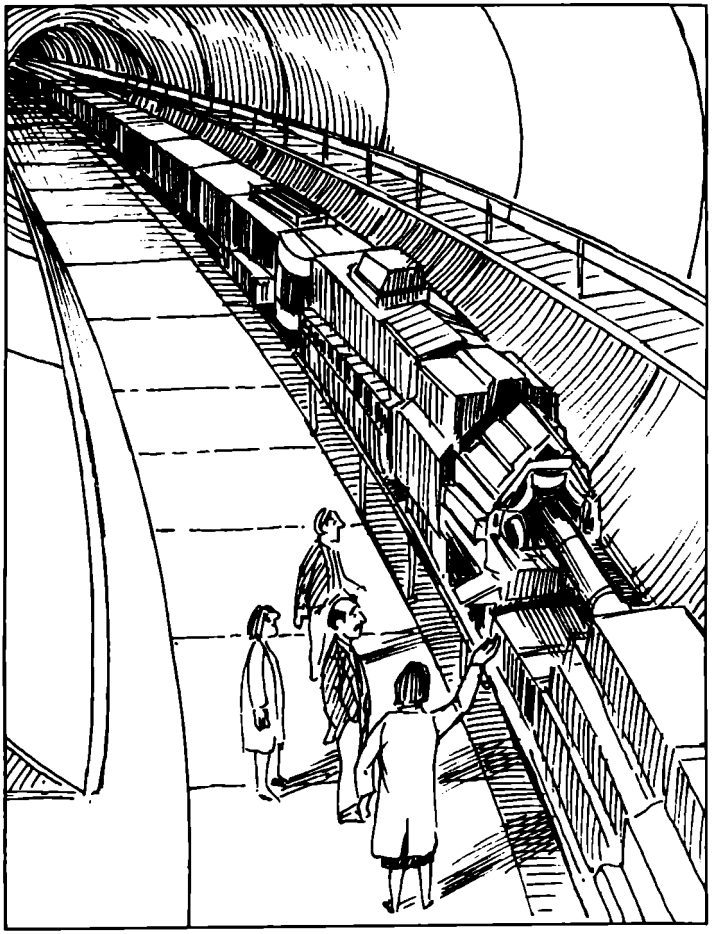
Ea izbucni în râs și clătină din cap.

— Nu, nu, e *acolo* jos. A arătat spre pământ. La aproape o sută de metri adâncime. Aici e doar calea de acces.

Au pătruns în clădire și au luat liftul. După ce au coborât, au ajuns la intrarea în tunelul acceleratorului.

— Înainte de a merge mai departe fac de obicei o mică demonstrație. Poate că nu vă dați seama, dar aveți fiecare un accelerator de particule acasă. Există și aici unul, spuse ea arătând spre un monitor TV de supraveghere. Într-un tub de televizor, electronii din filament sunt încălziți și accelerați de un câmp magnetic, astfel încât să lovească ecranul. Câmpul este produs de o tensiune electrică tipică de 20 000 de volți. Spunem că electronii au energia de 20 000 de electron-volți (eV). De fapt, acest eV este unitatea de măsură pentru energie folosită de noi. Ei bine, nu chiar eV, ar fi prea mică pentru ce se întâmplă aici. Este mai convenabil să lucrăm cu un milion de eV, numit megaelectron-volt (MeV), sau cu 10^9 eV, gigaelectron-volt (GeV). Ca să vă faceți o idee, cantitatea de energie „zăvorâtă" în proton (energia de repaus a protonului) este de 938 MeV, adică aproape un GeV. Ar trebui poate să vă mai spun că ne referim la masele particulelor în termenii energiei lor echivalente, nu în termenii masei electronilor. Astfel, masa protonului este de 938 MeV/c^2.

Acceleratorul de particule pe care urmează să-l vedeţi accelerează şi electroni, dar la energii mult mai mari decât cele din monitorul TV — energii suficiente ca să creeze acele particule despre care v-am vorbit. De fapt, avem nevoie de energii de zeci sau sute de GeV. Aceasta necesită echivalentul tensiunii



Tunelul prin care trec particulele

de 10^{11} volți! E imposibil să creăm și să menținem un asemenea voltaj — gândiți-vă numai la problemele de izolare. Am să vă arăt peste puțin timp cum ocolim aceste dificultăți. Între timp, priviți aici...

A căutat în buzunar și a scos ceva. A mișcat obiectul spre monitorul TV. Imaginea a fost imediat grav distorsionată.

— Un magnet, spuse ea. Câmpul magnetic poate fi folosit pentru a împinge fasciculul de particule. E o idee asupra căreia vom reveni... Atenție, se grăbi ea să adauge, nu cumva să faceți acest experiment cu magnetul asupra televizorului de acasă. Dacă e un televizor color, îl stricați; veți rămâne cu o mărturie *permanentă* a efectului magneților asupra fasciculelor de electroni! Puteți face experimentul în siguranță cu un televizor alb-negru, ca acesta. Bun. Să mergem!

Au înaintat pe un culoar ce ducea spre un tunel de dimensiunile tunelelor de metrou. În partea opusă ieșirii din culoar se afla un tub lung de metal. Avea o secțiune de aproximativ 10–20 de centimetri în diametru și traversa întreaga lungime a tunelului. Îndreptându-se spre el, dr Hanson a început să explice:

— Acesta e tubul prin care trec particulele. Au un parcurs lung și nu trebuie să se ciocnească de nimic, așa încât trebuie golit. De fapt, vidul din acest tub e mai bun decât tot ce ați putea găsi în spațiul extraterestru. Ce vedeți aici — spuse ea arătând spre o cutie care înconjura tubul — este o cavitate de radiofrecvență din cupru. Ea generează câmpul electric care accelerează particulele în momentul trecerii lor pe aici. Nu e foarte intens, e comparabil cu cel din monitorul TV. Atunci, cum ajung particulele la energiile colosale de care avem nevoie?... Ei bine, priviți spre capătul tunelului. Observați ceva legat de forma lui?

S-au uitat cu toții în depărtare. Apoi un tânăr spuse:

— E curbat. Foarte puțin. În primul moment am crezut că e drept. Dar nu este.

— Exact. Tunelul — și tubul acceleratorului — este curbat. E circular; totul e ca un covrig scobit pe dinăuntru. Circumferința

lui, şi a altor instalaţii de acest fel, este de zeci de kilometri. Ce vedem noi aici e doar un segment minuscul din întregul cerc. Electronii sunt constrânşi să se învârtă pe pista aceasta de curse circulară. Ceea ce înseamnă că în cele din urmă ajung în locul de unde au pornit — şi trec din nou prin aceleaşi cavităţi de radiofrecvenţă. La fiecare nouă trecere, primesc câte un impuls suplimentar. În nici o etapă nu e nevoie de voltaje mari. Le dăm în schimb o serie de impulsuri — mici impulsuri — folosind *aceleaşi* cavităţi iarăşi şi iarăşi. Isteţ lucru, nu-i aşa?

Au murmurat cu toţii a încuviinţare.

— Dar asta ridică o altă problemă. Trebuie să îndoim traiectoriile particulelor pentru a le face să devină circulare. Ce propuneţi pentru asta?

— Păi, după demonstraţia pe care ne-aţi făcut-o cu ecranul monitorului, cred că magneţii ar putea rezolva problema, propuse domnul Tompkins.

— Într-adevăr. Iată aici unul, spuse ea îndreptându-se spre un bloc masiv de fier care înconjura tubul. Un electromagnet cu un pol deasupra tubului şi celălalt dedesubt. Acesta produce un câmp magnetic vertical pentru a curba traiectoria particulei în plan orizontal. Priviţi în lungul tunelului şi veţi vedea o mulţime, identici, întinzându-se în jurul inelului şi producând traiectoria circulară dorită.

O altă problemă este că deviaţia pe care magnetul o imprimă traiectoriei unei particule încărcate electric depinde de impulsul ei — adică masa înmulţită cu viteza. Dar particulele sunt accelerate; ele câştigă constant în impuls. Aceasta înseamnă că devine din ce în ce mai dificil să le curbezi traiectoria şi să le menţii pe inelul de accelerare. Ceea ce avem deci de făcut este următorul lucru: pe măsură ce particulele câştigă în impuls, creştem constant curentul electric care alimentează electromagneţii. Aceasta duce la creşterea intensităţii câmpului magnetic între cei doi poli ai lor. Dacă creşterea câmpului magnetic este sincronizată cu creşterea impulsului particulei, atunci particulele vor rămâne pe traiectorie în cursul perioadei de accelerare.

— Ah! exclamă domnul mai în vârstă. Ăsta trebuie să fie motivul pentru care se numeşte „sincrotron". Mereu m-am întrebat de ce s-o fi chemând aşa.

— Da, e adevărat. Seamănă cu aruncarea ciocanului în concursurile atletice — roteşti bila în cerc şi trebuie s-o ţii tot mai strâns pe măsură ce capătă viteză.

— Atunci şi aceste particule vor fi lăsate libere la un moment dat? Le daţi până la urmă drumul şi ele ies pe undeva?

— Ei bine, nu, răspunse dr Hanson. Aşa se făcea pe vremuri. Atunci se activa un câmp magnetic sau electric care dădea un impuls pentru a arunca particulele din accelerator în momentul în care atingeau energia maximă. Apoi particulele loveau o ţintă de cupru sau de tungsten şi se produceau noi particule, iar acestea erau triate şi separate cu ajutorul mai multor câmpuri electrice şi magnetice. În cele din urmă erau conduse spre detectori, cum ar fi camerele cu bule.

Necazul cu ţintele fixe era slaba eficienţă în folosirea energiei. Vedeţi, într-o ciocnire se conservă nu numai energia, ci şi impulsul. Un proiectil din accelerator posedă un anume impuls care trebuie transferat particulelor ce rezultă din ciocnire. Dar particulele finale nu pot avea impuls fără să aibă şi energie cinetică. Prin urmare, de fapt, o parte din energia proiectilelor trebuie păstrată în rezervă pentru a fi mai târziu transferată particulelor finale aşa încât să fie respectată relaţia între energia cinetică şi impuls.

Frumuseţea acestei instalaţii este că are două fascicule care se rotesc în sensuri *opuse*. Într-o ciocnire frontală, impulsul unei particule va fi echilibrat de impulsul egal, dar de sens invers, al particulei ce vine din direcţia opusă. În felul acesta, *toată* energia transportată de ambele fascicule e disponibilă pentru producerea de particule. Seamănă oarecum cu ce se întâmplă la o ciocnire frontală între două maşini; e mult mai violentă decât o ciocnire în care una dintre maşini e în repaus, iar cealaltă o împinge înainte.

— Vreți să spuneți că aveți aici două acceleratoare, câte unul pentru fiecare fascicul? întrebă Maud.

— Nu, nu e nevoie. O particulă cu sarcină electrică negativă e rotită în sens invers față de una încărcată pozitiv. Ceea ce facem noi este să trimitem particulele încărcate pozitiv pe un drum și pe cele negative pe drumul opus, folosind aceeași magneți de deflecție și aceleași cavități de accelerare. Evident, ca să rămână exact pe aceeași traiectorie, ele trebuie să aibă tot timpul același impuls, așa încât cele două seturi de particule trebuie să aibă aceeași masă și aceeași viteză. De aceea noi rotim aici în sens opus electroni și pozitroni. Altă combinație ar fi protoni și antiprotoni.

Astfel, particulele sunt accelerate circular în direcții opuse până ce ating energia maximă. Apoi sunt aduse împreună în puncte anume alese din inel, așa încât să se ciocnească frontal. În aceste puncte de intersecție montăm aparatura de detecție.

— E clar că ideea ciocnirii frontale e soluția cea mai bună, după cum ne-ați explicat. Atunci de ce s-au mai complicat la început cu țintele fixe? întrebă domnul mai în vârstă.

— Dificultatea cu fasciculele acestea care se ciocnesc stă în faptul că trebuie să avem fascicule suficient de intense de pozitroni și antiprotoni. Le concentrăm în mănunchiuri strânse de grosimea unui creion. Dar chiar și așa, atunci când fasciculele sunt aduse față în față, majoritatea particulelor trec de punctul de intersecție fără să întâlnească vreo particulă din celălalt fascicul. Trebuie folosite tehnici extrem de sofisticate pentru a obține un număr semnificativ de ciocniri. Această misiune e îndeplinită de magneți de focalizare ca acesta pe care îl puteți vedea aici, spuse ea arătând spre un alt tip de magnet. Are două perechi de poli, în locul unei singure perechi, cum se întâmplă de obicei.

— Eu tot nu pricep de ce instalația trebuie să fie atât de mare, spuse o femeie.

— Ei bine, trebuie să înțelegeți că există un anumit câmp maxim pe care îl poate produce fiecare dintre acești magneți.

Pe măsură ce energia particulelor creşte, este din ce în ce mai greu să le ghidezi, aşa încât pentru a închide cercul e nevoie de tot mai mulţi magneţi. Dar, după cum vedeţi, fiecare magnet are o dimensiune destul de mare — cam şase metri. Dat fiind că avem nevoie de aproximativ 4 000 de magneţi de-a lungul cercului, ca să nu mai vorbim de magneţii de focalizare şi de cavităţile de accelerare, toate acestea determină dimensiunea cercului. Cu cât vrem ca energia finală a particulelor să fie mai mare, cu atât cercul trebuie să fie mai mare.

— Şi particulele se învârt aici chiar acum? întrebă unul dintre vizitatori.

— Doamne fereşte! exclamă dr Hanson. Când instalaţia e în funcţiune, nimeni n-are voie să intre în tunelul acceleratorului — nivelul de radiaţie ar fi prea ridicat. În nici un caz. Instalaţia e acum oprită pentru verificarea şi întreţinerea periodică. De aceea vizita dumneavoastră a fost programată astăzi.

După ce se uită la ceas continuă:

— E momentul să mergem mai departe. Urmaţi-mă, vă rog. Vă conduc la unul din punctele unde se ciocnesc fasciculele. Veţi putea vedea un detector.

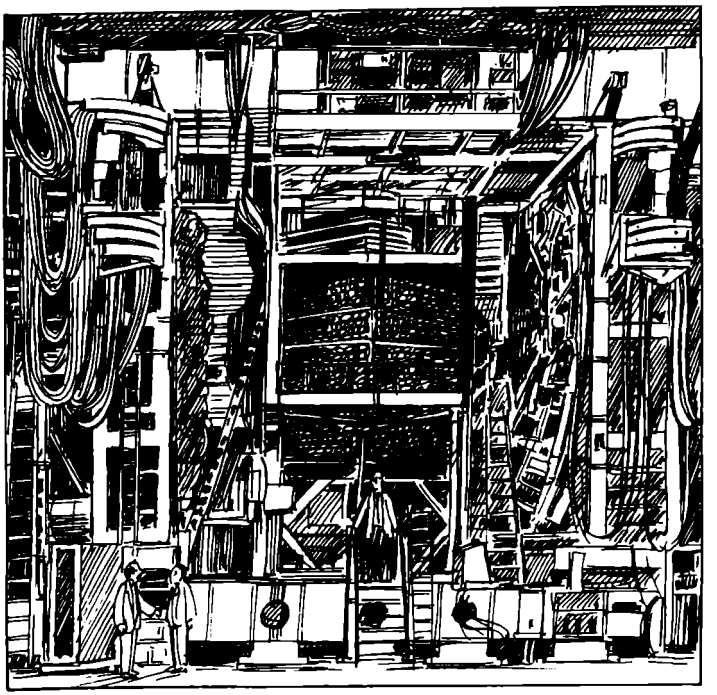
După ce au parcurs o distanţă considerabilă, trecând pe lângă şirul de magneţi ce părea nesfârşit, au ajuns în cele din urmă la o secţiune a tunelului care se deschidea spre o vastă incintă subterană. În centru, un obiect mare cât o casă cu două etaje domina încăperea.

— Acesta e detectorul, anunţă dr Hanson. Ce părere aveţi?

Erau, evident, impresionaţi.

— Nu, vă rog, nu vă plimbaţi pe acolo, spuse ea adresându-se unei perechi de vizitatori care se îndreptau spre aparat ca să-l vadă mai de aproape. Nu trebuie să stăm în calea fizicienilor şi tehnicienilor. Ei lucrează după un program foarte strict. Toate lucrările de întreţinere trebuie terminate în timpul scurtei perioade de oprire a instalaţiei.

A continuat apoi explicând că detectorul înconjoară tubul într-unul din punctele de intersecţie a fasciculelor. Scopul lui este să detecteze particulele ce rezultă din ciocniri. De fapt,



Un obiect mare cât o casă cu două etaje

nu e un singur detector, ci mai multe, fiecare cu caracteristicile şi rolul său. De pildă, există materiale plastice transparente în care se produc scântei atunci când trec prin ele particule încărcate electric. Există materiale în care particulele emit un tip special de lumină (numită radiaţie Cerenkov) ori de câte ori trece o particulă având o viteză mai mare decât viteza luminii în acel mediu.

— Dar credeam că teoria relativităţii spune că nimic nu poate călători mai repede decât lumina, a întrerupt-o o femeie.

— Da, e adevărat, dar numai dacă avem în vedere viteza luminii în *vid*, explică dr Hanson. Când lumina trece prin medii ca sticla, apa sau plasticul, ea se propagă mai încet. De aceea există fenomenul de refracţie — schimbarea direcţiei razei de

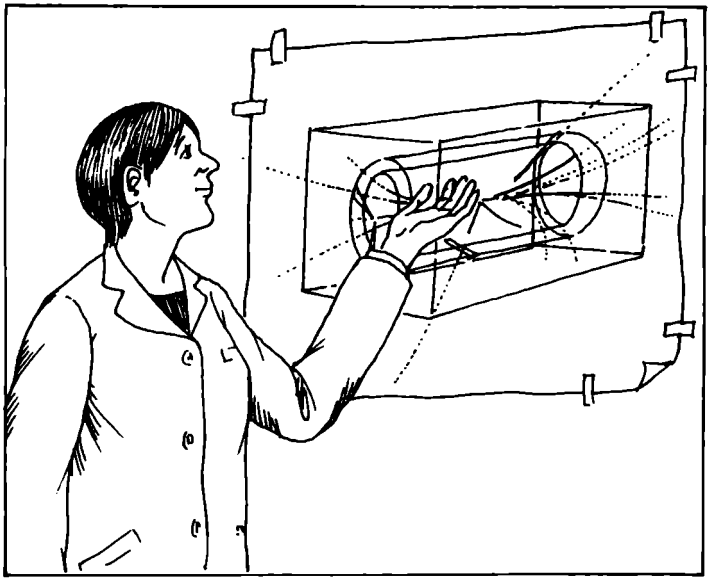
lumină — pe care se bazează ochelarii dumneavoastră. Nimic nu împiedică o particulă să treacă prin acel mediu mai repede decât lumina. Atunci ea emite un fel de undă electromagnetică de şoc — analogul undei de şoc produse de avioanele care depăşesc viteza sunetului.

Dr Hanson a început să descrie modul de construcţie al câtorva detectori constând din camere umplute cu gaz şi conţinând mii de fire electrice foarte fine. Atunci când o particulă încărcată trece prin cameră, ea smulge electroni din atomii gazului (ionizează atomii). Aceşti electroni migrează către fire, unde sosirea lor poate fi înregistrată. În felul acesta poate fi reconstruită urma particulei, cunoscând ce fire electrice au fost activate. Suprapunând un câmp magnetic, se poate măsura impulsul particulelor prin curbura produsă diferitelor traiectorii.

Au urmat calorimetrele. Ele sunt numite astfel după calorimetrele folosite deseori în şcoli la lecţiile de fizică pentru experimente privind căldura, cu scopul de a măsura energia. Calorimetrele utilizate aici măsoară energia particulelor individuale sau energia totală a unor fascicule de particule.

Cunoscând energia unei particule şi combinând-o cu ceea ce aflăm despre impulsul ei prin curbarea magnetică a urmei, se poate identifica masa particulei ce provine din interacţia primară. În sfârşit, în afara calorimetrelor există camere ce acţionează ca detectori de miuoni. Miuonul este o particulă care, la fel ca electronul, nu suferă interacţii nucleare tari. Dar, spre deosebire de electron, el nu pierde cu uşurinţă energie prin emisie de radiaţie electromagnetică (datorită faptului că e de aproximativ 200 de ori mai greu decât electronul). El poate prin urmare să-şi facă drum printre obstacole fără mare efort. Exact această proprietate este folosită aici. Detectorul de miuoni se află în exterior şi conţine mult material. Orice trece prin acest detector trebuie să fie miuon!

Toate aceste tipuri diferite de detectori sunt aranjate ca foile unei cepe cilindrice înfăşurate în jurul segmentului de tub al acceleratorului unde au loc interacţiile. Ele trebuie aranjate ca



Pot fi văzute de fizicieni în camera de comandă

un puzzle gigantic tridimensional. Întreaga structură cântărește 2 000 de tone.

— Toate astea se întâmplă însă numai când sincrotronul este pus în funcțiune, spuse domnul Tompkins.

— Desigur.

— Dar nimeni nu are voie să se afle aici când funcționează. Și atunci, cum știu oamenii de știință ce se întâmplă?

— Bună observație, remarcă dr Hanson. Vedeți toate astea? spuse ea arătând spre o rețea încâlcită de cabluri ieșind din detectori. Pentru domnul Tompkins arăta ca o fabrică de spaghetti lovită de o bombă. Ele primesc semnalul electronic de la fiecare detector în parte și îl transmit unui calculator. Calculatorul prelucrează toate informațiile și reconstruiește traiectoriile particulelor. Acestea pot fi văzute de fizicieni în camera de comandă, aflată la distanță. Cam așa arată imaginile cu care au de-a face,

spuse ea arătând spre o fotografie prinsă de perete. Veniţi să vă uitaţi un pic la ea. Am să vă arăt pe urmă camera de comandă.

Urmându-i pe ceilalţi, domnul Tompkins mai aruncă o privire către detector, dar nu băgă de seamă că unul dintre tehnicieni întinsese un cablu pe podea. S-a împiedicat şi a căzut, lovindu-se cu capul de podeaua de beton...

— Ce Dumnezeu, Watson! N-avem timp de odihnă. Ridică-te şi dă-mi o mână de ajutor.

Un personaj îmbrăcat ca Sherlock Holmes stătea lângă el. Domnul Tompkins era pe punctul să-i explice că nu-l cheamă Watson, când detectorul i-a atras atenţia. Scuipa în toate direcţiile particule! Se rostogoleau pe jos umplând podeaua.

— Hai odată! Culege pentru mine câte poţi să duci.

Domnul Tompkins s-a uitat în jur după dr Hanson şi restul grupului. Nu se vedea nimeni. A tras concluzia că se duseseră fără el în camera de comandă. Ciudat lucru, dar probabil că se vor întoarce după el la un moment dat. Între timp, ar face mai bine să se distreze cu nebunul îmbrăcat în haine fanteziste.

Umplându-şi braţele cu particule, le-a adus personajului Holmes, care supraveghea calm aranjarea particulelor pe podea. Domnul Tompkins a recunoscut forma hexagonală a reprezentării SU(3).

— Bun. Gata cu particulele de spin 1/2. Trecem la particulele cu spin 3/2 şi $B = 1$, zise Holmes întinzând mâna.

— Poftim?

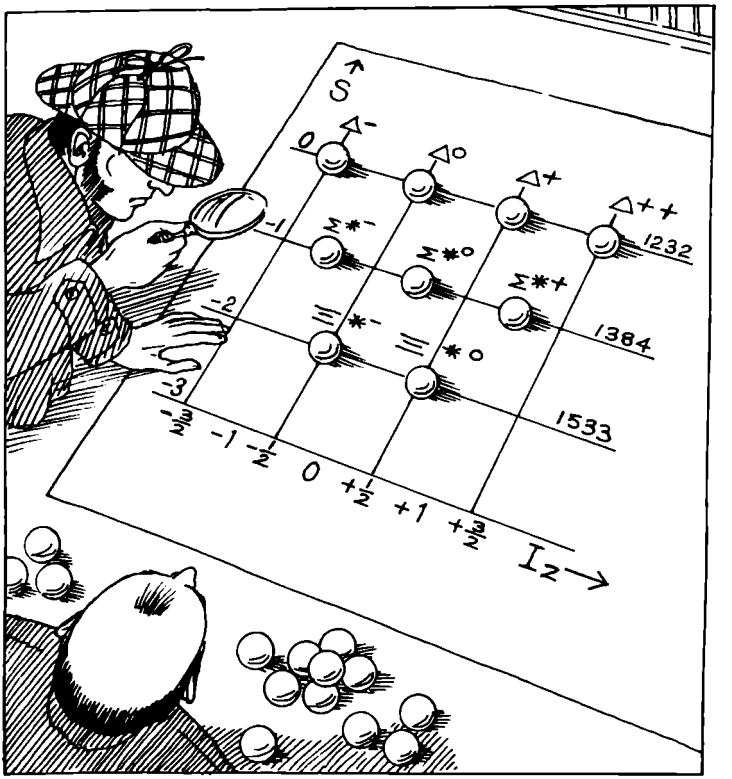
— Particulele cu spin 3/2 şi $B = 1$. Hai, prietene. De celelalte m-am ocupat eu.

Domnul Tompkins era derutat.

— De unde să ştiu eu...

— Citeşte etichetele, zise plictisit faimosul detectiv.

Abia acum observă domnul Tompkins că fiecare particulă avea lipită o mică etichetă. Erau notate proprietăţile particulei. Scotocind printre ele, le-a luat pe cele cu spinul 3/2 şi $B = 1$. Holmes s-a aplecat şi le-a pus pe podea. După câteva aranjări şi rearanjări, s-a aşezat pe un scaun şi a început să le studieze.



Particulele cu spin 3/2 şi $B = 1$

— Ei bine, Watson, ce părere ai? Vreau să ştiu cum vezi tu reconstituirea situaţiei.

Domnul Tompkins privea fix la figura din faţa sa.

— Arată ca un triunghi, îndrăzni el.

— Asta crezi? Ca om cu o minte riguros ştiinţifică, nu descoperi nici o greşeală în această concluzie?

— Îi lipseşte vârful de jos.

— Exact! După cum ai observat cu atâta perspicacitate, triunghiul e incomplet. Lipseşte o particulă. Poţi să-mi aduci piesa finală?

Continuând să privească figura, Holmes întinse mâna.

Domnul Tompkins a scotocit din nou printre particule, dar fără succes.

— Îmi pare rău, Holmes. Am impresia că nu e.

— Hmmm. Şi totuşi sunt convins că e extrem de probabil să mai existe încă o particulă. Prin urmare, pornind de la această ipoteză de lucru, ce concluzii tragi asupra proprietăţilor particulei lipsă?

Domnul Tompkins cugetă o clipă.

— Are spinul 3/2 şi $B = 1$?

— Dragul meu Watson, te-ai întrecut pe tine însuţi, oftă sarcastic Holmes. Evident că are proprietăţile astea; n-ar face parte din această familie dacă nu le-ar avea. Fă un efort de gândire! Ce altceva mai poţi să-mi spui despre ea? Doar îmi cunoşti metodele. Aplică-le!

Domnul Tompkins nu mai ştia ce să creadă. După o pauză a recunoscut:

— Mi-e teamă că n-am nici un indiciu.

— Ce vorbeşti! explodă Holmes. Pentru un om de ştiinţă cu experienţă este absolut evident că particula lipsă posedă sarcină electrică negativă, fără să aibă un corespondent pozitiv sau neutru — o particulă singulară; are $s = -3$ (o cantitate neobişnuit de mare de stranietate); şi are o masă de 1680 MeV/c^2.

— Doamne Dumnezeule, Holmes, mă uimeşti!

Brusc domnul Tompkins îşi dădu seama că, fără să vrea, îşi asumase complet rolul lui Watson.

— Din moment ce e ultima particulă care completează figura, am s-o numesc Omega minus (Ω^-), conchise Holmes.

— Tot nu pricep. De unde ştii toate astea?

Marele om zâmbi.

— E o plăcere pentru mine să-mi exersez talentul în beneficiul tău. În primul rând, câte goluri sunt în figură?

— Unul.

— Exact. Avem prin urmare de-a face cu o singură particulă lipsă. Mai departe, ce poţi spune despre stranietatea ei?

— Locul gol este nivelul corespunzând lui $s = -3$.

— Perfect. Şi ce sarcină electrică are?

— Mi-e teamă că aici am încurcat-o.

— Foloseşte-ţi spiritul de observaţie. Ce poţi să spui despre sarcina electrică a particulelor din extrema stângă a fiecărui rând?

— Toate sunt negative.

— Corect. Particula noastră Ω^- se află la capătul din stânga al rândului ei, prin urmare şi ea trebuie să fie negativă.

— Dar, protestă domnul Tompkins, este singura particulă din rând. Aşa că este în acelaşi timp şi capătul din dreapta.

— Şi ce-i cu asta? Ia aruncă o privire asupra membrilor din extrema dreaptă a fiecărui rând. Ce observi?

Domnul Tompkins îi studie o clipă, apoi spuse:

— Aha, am înţeles ce vrei să spui. Fiecare rând succesiv pierde o unitate de sarcină faţă de precedentul: $Q = +2, +1, 0$, aşa încât ultimul trebuie să aibă $Q = -1$. Dar ai spus ceva şi despre masa lui Ω. Pe asta cum ai mai aflat-o?

— Ia uită-te la masele celorlalte particule.

— Da. Şi? întrebă domnul Tompkins perplex.

— Aritmetică mentală! Care sunt diferenţele de masă între rândurile succesive de particule? Ia să vedem... Între particulele Δ şi cele Σ^*, face 152 MeV/c^2. Iar între particulele Σ^* şi Ξ^* ... 149 MeV/c^2. Sunt aproximativ egale. Pornind de aici, pot avansa ipoteza că aceeaşi diferenţă va fi şi între particulele Ξ^* şi particula Ω, pe care o căutăm. Cercul suspecţilor s-a strâns. Ţine minte aceste proprietăţi şi poate că ai să fii atât de amabil să te duci s-o cauţi.

Acestea fiind zise, Holmes s-a aşezat comod în scaun, şi-a împreunat degetele şi a închis ochii.

Deşi iritat de aerele de superioritate ale lui Holmes, domnul Tompkins era curios să afle dacă exista vreo urmă de adevăr în toate aceste deducţii. Aşa că a pornit agale cu intenţia să mai scotocească printre particulele împrăştiate pe podea în jurul detectorului.

Dar, înainte de a ajunge acolo, o grămadă de electroni apăru de nicăieri. Domnul Tompkins se trezi complet înconjurat şi luat prizonier.

— Îmbarcarea! se auzi un glas poruncitor.

Imediat, toţi electronii au pornit în goană spre accelerator, luându-l şi pe domnul Tompkins cu ei. S-au înghesuit în interiorul tubului; era mai rău decât într-un tren supraaglomerat la o oră de vârf. Toţi erau furioşi şi-şi foloseau coatele ca să-şi facă loc.

— Scuzaţi-mă, dar ce se întâmplă? îl întrebă domnul Tompkins pe un electron de alături.

— Ce se întâmplă? Sunteţi nou pe aici, am impresia.

— Într-adevăr...

— Atunci fiţi binevenit printre kamikaze! spuse electronul aruncându-i o privire ameninţătoare.

— Cum? Bine dar eu nu...

N-a mai avut însă timp de explicaţii. Au primit un brânci violent de la spate şi au pornit prin tub. Exact când se temea că se va zdrobi de peretele curbat, domnul Tompkins şi-a dat seama că o forţă laterală îl ţinea departe de perete.

„Aha, ăsta trebuie să fie efectul magneţilor" îşi spuse el. Apoi, primi alt brânci din spate. „Şi asta trebuie să fie altă cavitate de accelerare."

Pe măsură ce navigau între ghionturi periodice, a observat că mănunchiul de electroni tinde să se disperseze. „Presupun că e din cauza faptului că avem cu toţii sarcină electrică negativă şi ne respingem unii pe alţii." Dar au fost brusc strânşi din nou laolaltă. A bănuit că asta trebuie să se fi datorat trecerii printr-un magnet de focalizare.

Deodată, spre groaza domnului Tompkins, un roi de particule a apărut din întuneric, zburând spre ei din direcţia opusă. L-au ratat de puţin.

— Ajutor! strigă domnul Tompkins.

S-a întors spre tovarăşul lui:

— Aţi văzut ce s-a întâmplat? Vă daţi seama prin ce-am trecut?! Cine sunt *ăştia*?

— Văd că sunteţi într-adevăr nou pe aici, sosi răspunsul sarcastic. Cine să fie? Pozitroni!

Filmul evenimentelor s-a repetat întocmai: o succesiune de accelerări, întrerupte de episoade de focalizare, iar câmpurile

magnetice care le curbau traiectoria deveneau tot mai intense, pe măsură ce energia particulelor creştea. Şi, bineînţeles, la intervale regulate, roiuri de pozitroni zburând spre ei din sens opus.

Lucrurile arătau din ce în ce mai urât. De fiecare dată când treceau, pozitronii îi ameninţau:

— Aşteptaţi numai! Vă arătăm noi vouă!

— Ca să vezi! Şi mai ce? răspunse electronul de lângă domnul Tompkins.

Atât electronii cât şi pozitronii păreau să aştepte cu încordare desfăşurarea evenimentelor. Domnului Tompkins însă nu-i mai păsa. Cu fiecare tur prin accelerator se simţea tot mai ameţit şi avea greţuri. În cele din urmă auzi glasul tovarăşului său:

— Curaj. Cu toată energia înainte. Baftă! O să aveţi nevoie.

Domnul Tompkins ar fi vrut să întrebe ce înseamnă toate astea, dar nu mai era nevoie: pozitronii veneau spre ei, de data asta drept în faţă. Domnul Tompkins vedea peste tot ciocniri violente între electroni şi pozitroni, fiecare producând jeturi de noi particule împrăştiate în toate direcţiile. Abia erau create noile particule în cursul ciocnirii, că se despicau imediat în alte particule. În cele din urmă, toate resturile treceau prin pereţii tubului de accelerare şi nu mai puteau fi văzute.

Linişte. Totul s-a terminat. Pozitronii au dispărut şi au rămas doar electronii. Privind în jur, domnului Tompkins i se părea că, în ciuda violenţei la care fuseseră supuşi, majoritatea electronilor au scăpat nevătămaţi.

— Pfffu! Ce noroc am avut, oftă el uşurat. Bine că s-a terminat.

Tovarăşul său îi aruncă o privire dispreţuitoare.

— Formidabil! spuse electronul. Nu ştiţi *absolut* nimic.

Nici nu apucă să-i răspundă, că pozitronii îşi făcură din nou apariţia! Toată scena înspăimântătoare s-a repetat a doua oară, apoi a treia, a patra şi aşa mai departe: perioade de acalmie întrerupte de masacre. Domnul Tompkins începea să înţeleagă — ciocnirile aveau loc mereu în aceleaşi puncte de pe inel. „Trebuie să fie acolo unde sunt plasaţi detectorii", gândi el.

În timpul uneia dintre aceste întâlniri între fascicule s-a petrecut lucrul de care se temea cel mai tare domnul Tompkins. O lovitură în plin! Fără vreun avertisment, a fost izbit în zbor. A fost expediat apoi spre peretele acceleratorului, unde — așa cum bănuia — îl așteptau detectorii. A privit aproape inconștient tot ce a urmat: un viraj violent, jerbe de scântei, lumini puternice și o serie de șocuri pe măsură ce se lovea de plăci metalice, pentru ca în cele din urmă să rămână pe una din ele. Cum a reușit să se extragă de pe această placă metalică nu-și mai putea aminti; era prea amețit. Cert e însă că a reușit cumva, iar apoi s-a trezit din nou în sala de experimente, înconjurat de o mulțime de particule care scăpaseră din detector.

Zăcea cu ochii în tavan, încercând să-și vină în fire, când auzi o voce sfioasă:

— Pe mine mă căutați?

În primul moment nu și-a dat seama că întrebarea îi era adresată. Dar, când seducătoarea voce s-a auzit din nou, a făcut efortul să se ridice.

— Ce ați spus? îndrăzni el privind nedumerit în jur.

Descoperi că îi vorbea una din particule — o particulă superbă care arăta într-adevăr exotic.

— Nu, nu cred, spuse el în cele din urmă cu glas pierdut.

— Sunteți sigur? insistă ea.

— Absolut sigur.

Urmă o tăcere stânjenitoare.

— Păcat. Aș fi putut să vă țin companie. Sunt singură. Ați putea măcar să vă uitați la eticheta mea, adăugă ea îmbufnată.

Domnul Tompkins oftă, dar se conformă supus. Citi:

— Spin 3/2, B =1, sarcină negativă, s = −3, masă 1672 MeV/c^2.

— Ei? spuse particula plină de speranțe.

— Și ce-i cu asta? răspunse el mirat de insistența particulei; imediat însă își dădu seama. Doamne Dumnezeule! Dar sunteți... Sunteți chiar particula Ω^-! Sunteți cea după care am fost trimis! Aproape că uitasem. Slavă Domnului! Am găsit particula Ω^- care lipsea!

Emoţionat din cale-afară, s-a grăbit să se întoarcă la Holmes ca să-i arate rezultatul căutărilor sale.

— Excelent! exclamă Holmes. Exact cum am bănuit. Pune-o la locul ei.

Domnul Tompkins aşeză particula pe podea aşa încât să completeze triunghiul de zece. Holmes îşi aprinsese pipa preferată din lut negru şi pufăia mulţumit.

— Elementar, dragul meu Watson. Elementar.

Domnul Tompkins a privit un timp figurile care zăceau în faţa lor, octetul hexagonal şi decupletul triunghiular, dar a început să simtă tot mai acut fumul iritant al tutunului tare din pipa lui Holmes. Era învăluit cu totul în fum. Ca să scape de senzaţia neplăcută, hotărî să plece.

Hoinărind la întâmplare, se gândi să dea o raită pe la detector. Când a ajuns la capătul drumului, a fost cât se poate de surprins şi de încântat să vadă o figură cunoscută aplecată deasupra unei mese de lucru. Era cioplitorul în lemn!

— Ce faceţi aici? îl întrebă domnul Tompkins.

Cioplitorul a ridicat privirea. Când l-a recunoscut, pe faţă i-a înflorit un zâmbet larg.

— Ah, dumneavoastră eraţi! Mă bucur să vă revăd!

Şi-au strâns mâinile.

— Văd că vă ocupaţi tot cu vopsitul, observă domnul Tompkins.

— Ei, m-am mutat de când ne-am văzut ultima dată. Am o nouă slujbă. Nu mai vopsesc protoni şi neutroni. Acum mă ocup de *cuarci*!

— Cuarci! exclamă domnul Tompkins.

— Da. Constituenţii ultimi ai materiei nucleare. Din ei sunt alcătuiţi protonii şi neutronii.

S-a uitat în jur şi i-a făcut semn să se apropie.

— Am auzit fără să vreau conversaţia pe care aţi purtat-o cu gură-spartă ăla de acolo, şopti cioplitorul. „Elementar, dragă Watson, elementar", repetă el maimuţărindu-l pe Holmes. Ascultaţi-mă pe mine, nu ştie ce spune. Elementar pe naiba! Par-

ticulele lui sunt ce vreţi şi ce nu vreţi, numai elementare nu. Credeţi-mă pe cuvânt: despre cuarci e vorba.

— De fapt, ce faceţi aici? îl întrebă domnul Tompkins.

— Vopsesc cuarcii. Când noile particule apar din accelerator, le vopsesc cuarcii.

Ţinând o pensulă fină într-o mână şi o pensetă în cealaltă, continuă:

— Muncă migăloasă. Cuarcii sunt foarte mici. Priviţi. Ăsta e un mezon. Uitaţi-vă la cuarcii dinăuntru: un cuarc şi un anticuarc. Aşa îl ţin, spuse el prinzând cuarcul cu penseta. Nu poţi să-i scoţi afară; sunt prea strâns lipiţi. Dar nu contează. Pot să-i vopsesc foarte bine şi dacă stau înăuntru. Vopsesc cuarcul cu roşu şi apoi anticuarcul cu cian.

— Astea erau culorile pe care le foloseaţi pentru protoni şi electroni, îşi aminti domnul Tompkins.

— E adevărat. Şi, după cum vedeţi, combinaţia face ca mezonul în întregul lui să fie alb. Dar pot folosi şi alte combinaţii de culori complementare: albastru cu galben, verde cu magenta (sau purpuriu), spuse el arătând spre borcanele cu vopsele de pe masă. Barionii, cum e protonul ăsta, sunt alcătuiţi dintr-o combinaţie de trei cuarci. La barioni vopsesc fiecare cuarc în câte o culoare primară diferită: roşu, albastru şi verde. E o metodă alternativă pentru a produce alb; fie amesteci două culori complementare, fie amesteci toate cele trei culori primare.

Gândurile domnului Tompkins zburau către întâlnirea mai veche cu călugărul. Îşi închipuia că părintele Pauli ar fi de acord cu mezonii — atracţia contrariilor, dar nu era deloc sigur că i-ar plăcea combinaţia de trei!

Cioplitorul în lemn continuă pe un ton grav:

— Aş vrea să ştiţi că e o muncă de importanţă vitală. Întregul edificiu al universului depinde de ce fac eu aici. Vopsitul protonilor şi electronilor era doar ca să-i fac să arate mai bine, să fie mai uşor de identificat în diagramele din cărţile de fizică popularizată. Aici însă e vorba de culoare serioasă. Vreau să spun că uneori fizicienii înşişi se referă la culoare. Ea explică de ce cuarcii sunt legaţi atât de strâns împreună, de ce nu pot

apărea separat. Pentru a fi de sine stătătoare, o particulă trebuie să fie albă, ca protonii şi neutronii din cutia asta, pe care tocmai i-am terminat. Acum sunt gata de îmbarcare. Dar cuarcii individuali sunt coloraţi, aşa că rămân pe vecie legaţi de alţii care au culorile potrivite. Sper că v-am lămurit.

Domnul Tompkins simţea că unele din informaţiile pe care le citise în broşură şi-ar putea găsi acum explicaţia. Dar de ce particulele trebuie neapărat să fie albe, asta rămânea un mister pentru el. S-a dus la cutia cu nucleoni şi a ridicat capacul. A fost izbit de albul lor strălucitor. Se simţea ameţit şi a închis ochii...

— Cred că în sfârşit îşi revine.

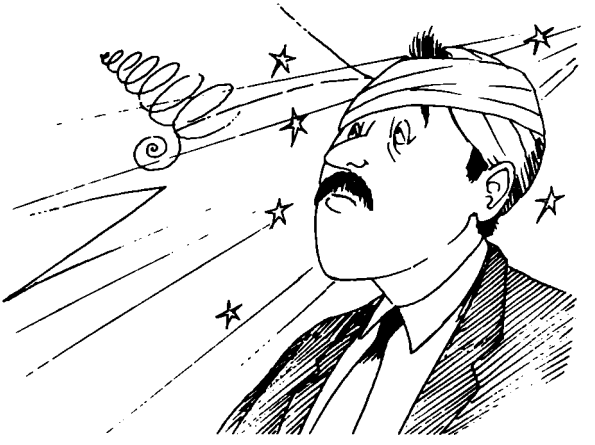
Era vocea lui Maud.

— Lumina! Vă rog! Îl orbiţi. Dragul meu, ţi-e bine? Slavă Domnului! Eram tare îngrijoraţi. Ce te-ai mai izbit! Cum te simţi?

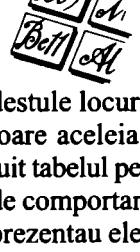
— Era un pozitron, bâigui domnul Tompkins. M-a lovit un pozitron.

— L-a lovit un pozitron?! întrebă cineva. Aşa a zis?

— Comoţie, spuse un altul. A suferit o comoţie. Bate câmpii. Trebuie să-l ducem imediat la Spitalul de Urgenţă. N-are voie să se mai agite. Şi rana asta din frunte trebuie bandajată.



16 Ultima lecție a profesorului



Doamnelor și domnilor,

Murray Gell-Mann și Yuval Ne'eman au descoperit în 1962, în mod independent unul de altul, că particulele pot fi grupate în familii de scheme bazate pe grupul SU(3).

Nu toate schemele erau complete, existau destule locuri goale. În această privință, situația era asemănătoare aceleia cu care se confruntase Mendeleev când a alcătuit tabelul periodic al elementelor. Și el găsise modele recurente de comportament — presupunând că locurile rămase libere reprezentau elementele nedescoperite la acea dată. Studiind proprietățile elementelor învecinate locurilor goale, Mendeleev a putut prevedea existența și natura elementelor necunoscute. Istoria s-a repetat când Gell-Mann și Ne'eman au prezis existența și proprietățile detaliate ale particulei Ω^- pe baza unui loc rămas gol într-un decuplet triunghiular. Remarcabila descoperire din 1963 a particulei Ω^- a convins comunitatea științifică internațională că grupul de simetrie SU(3) deschidea calea către înțelegerea particulelor elementare.

Prin punerea în evidență a relațiilor dintre elementele atomice, tabelul lui Mendeleev indica existența unei structuri interne; elementele trebuiau privite ca diferite variațiuni ale aceleiași teme. Această sugestie avea să capete mai târziu viață în cadrul teoriei structurii atomice, conform căreia toți atomii constau dintr-un nucleu central cu electroni în jurul lui.

În 1964, Gell-Mann și George Zweig au sugerat că asemănările și schemele de familie manifestate de particule erau, în mod similar, reflectarea unei structuri interne. Această propunere

conducea la posibilitatea ca cele mai bine de 200 de particule, până atunci considerate „elementare", să fie de fapt alcătuite din constituenţi încă şi mai simpli. Aceşti constituenţi au fost numiţi *cuarci*. În prezent, credem că sunt într-adevăr fundamentali. Ei sunt consideraţi punctiformi, fără să posede vreo structură internă alcătuită din „subcuarci". Dar cine ştie? Poate că ne înşelăm iar!

Schema iniţială se baza pe existenţa a trei tipuri sau *flavours* [*arome*] de cuarci: cuarc sus, jos şi straniu. Primele două au fost numite astfel fiindcă „sus" şi „jos" sunt direcţiile izospinului lor. Cuarcul straniu şi-a primit acest nume datorită faptului că prezenta nou-descoperita proprietate a materiei: stranietatea. Identificarea în anii '70 a unor particule care prezintă alte două proprietăţi (charm şi bottom), iar în anii '90 a încă unei proprietăţi (top) a făcut necesară includerea altor trei „arome" [flavours] ale cuarcilor — acestea reprezentând proprietăţile suplimentare. Proprietăţile celor şase cuarci sunt prezentate în Tabelul 1.

În plus faţă de cei şase cuarci, există şase anticuarci posedând valorile opuse ale tuturor cantităţilor din tabel. De exemplu, anticuarcul $\bar{s}$ al cuarcului s are $Q = +1/3$, $B = -1/3$ şi $s = +1$.

Tabelul 1. *Proprietăţile cuarcilor*

	Q	B	s	c	b	t
d	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	0	0	0	0
u	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	0	0	0	0
s	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	−1	0	0	0
c	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	0	0	0	0
b	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	0	0	−1	0
t	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	0	0	0	1

Q este sarcina electrică, B este numărul barionic, s este stranietatea, c este charm, t este top; d, u, s, c, b, şi t sunt numele celor şase cuarci.

Toate noile particule produse în ciocnirile la energii înalte pot fi sintetizate din acești cuarci și anticuarci. Barionii sunt alcătuiți din trei cuarci: (q,q,q). Astfel, de pildă, protonul este combinația (u,u,d), neutronul este (u,d,d), iar Λ^0 este (u,d,s). Puteți verifica folosind tabelul că aceste combinații duc într-adevăr la proprietățile particulelor (protonul, de exemplu, are $B = +1$ și $Q = +1$).

Antibarionii constau din trei anticuarci: ($\bar{q},\bar{q},\bar{q}$,). Rezultă de aici că barionii și antibarionii au proprietăți exact opuse.

Ce putem spune despre mezoni, cum e de pildă pionul? Mezonii sunt alcătuiți din combinarea unui cuarc și a unui anticuarc: (q,$\bar{q}$). Astfel mezonul π^+ constă din (u,$\bar{d}$). Puteți din nou verifica și veți găsi că această combinație conduce exact la proprietățile pionului: $B = 0$ și $Q = +1$.

Ar trebui să menționez aici faptul că nu toate particulele sunt alcătuite din cuarci. Doar barionii și mezonii sunt constituiți astfel. De fapt, noi numim toate aceste particule cu un singur termen generic: *hadroni* — un cuvânt însemnând „tari". Hadronii simt forța nucleară tare; alte tipuri de particule, cum ar fi electronii, miuonii și neutrinii nu o simt. Pentru ei folosim termenul generic de *leptoni*. Denumirile „barioni" și „mezoni" sunt oarecum înșelătoare. Ele se bazează pe ideea de greutate a particulei. Dar știm că există un lepton, numit tau, care e de două ori mai greu decât protonul — deci nu prea poate fi considerat o particulă „ușoară"! De aceea e preferabil să clasificăm particulele după felul în care interacționează: hadroni (interacționează tare) sau leptoni (nu sunt supuse forțelor nucleare tari).

Am vorbit până acum despre cuarci legați în hadroni. Ce se poate spune despre cuarcii liberi? Ar trebui să fie ușor de identificat după sarcina lor electrică fracționară de o treime sau de două treimi.

În ciuda eforturilor imense, nu a fost identificat vreodată un cuarc liber. Nici în ciocnirile la cele mai înalte energii nu se produc cuarci liberi. Aceasta cere o explicație.

Una din ideile care s-au vehiculat pentru un timp a fost că de fapt cuarcii n-ar fi reali; că ar fi doar entităţi matematice — ficţiuni utile. Particulele se comportă *ca şi cum* ar fi compuse din cuarci, dar de fapt cuarcii nu există.

A apărut apoi însă o demonstraţie convingătoare privind realitatea cuarcilor. E un alt exemplu de istorie care se repetă. Să ne amintim cum a demonstrat Lordul Rutherford în 1911 existenţa nucleului bombardând atomii cu particule alfa şi observând că unele sunt împrăştiate la unghiuri mari. Aceasta indica faptul că proiectilele atinseseră o ţintă concentrată într-un spaţiu foarte mic în interiorul atomului (nucleul). În 1968 a devenit posibilă bombardarea *interiorului* protonului cu electroni de energie înaltă. S-au acumulat dovezi că din când în când electronii erau împrăştiaţi la unghiuri mari, fapt care indica ciocnirea lor cu o sarcină electrică concentrată într-un spaţiu mic în interiorul protonului. Aceasta a fost confirmarea realităţii cuarcilor. Din frecvenţa împrăştierilor la unghiuri mari s-a putut calcula că există trei cuarci într-un proton.

Prin urmare, dacă cuarcii se află într-adevăr acolo înăuntru, de ce nu apar niciodată singuri? De asemenea, trebuie să ne punem întrebarea de ce există numai combinaţiile $(q,\bar{q})$ şi (q,q,q). De ce nu şi în alte combinaţii, de pildă $(q,\bar{q},q)$ sau (q,q,q,q)? Pentru a găsi un răspuns, să ne întoarcem la natura forţei dintre cuarci.

Începem prin a aminti că atracţia dintre electronul şi protonul unui atom de hidrogen apare din forţa electrostatică ce acţionează între sarcinile electrice ale protonului şi electronului. Prin analogie, am putea deci introduce o nouă formă de „sarcină". Cuarcii sunt purtătorii acestui tip de „sarcină" (în plus faţă de sarcina electrică), iar forţele tari apar datorită interacţiilor dintre aceste „sarcini". Pentru motive care se vor lămuri mai târziu, le vom numi *sarcini de culoare*.

La fel cum sarcinile electrice opuse se atrag între ele, şi sarcinile de culoare opuse se atrag — dar acţiunea lor este mult mai puternică. Vom postula că sarcina de culoare a cuarcilor

e pozitivă, iar cea a anticuarcilor negativă. Aceasta explică de ce există combinaţia (q,$\bar{q}$) din mezon. Iarăşi prin analogie cu cazul electrostatic, presupunem că sarcinile de culoare de acelaşi semn se resping. Aceasta explică de ce e imposibilă combinaţia (q,$\bar{q}$,q). La fel cum un al doilea electron ce se apropie de atomul de hidrogen nu se poate ataşa atomului deoarece atracţia exercitată asupra sa de proton e compensată de respingerea celuilalt electron care se află deja în atom, un al doilea cuarc nu se poate ataşa mezonului din cauza respingerii celuilalt cuarc.

Dar cum se explică atunci combinaţia de trei cuarci (q,q,q)? Aici trebuie să observăm o *deosebire* între sarcina electrică şi sarcina de culoare. Există doar un singur tip de sarcină electrică (fie ea pozitivă sau negativă), în schimb există *trei* tipuri de sarcină de culoare (fiecare din ele putând fi pozitivă sau negativă). Le vom numi roşu, verde şi albastru — sau r, g şi b — din motive ce se vor lămuri în curând. (Mă grăbesc să subliniez că n-au nici o legătură cu culorile obişnuite.) Existând trei tipuri de sarcină de culoare, ne putem întreba: ce fel de interacţii au loc între cuarcii având tipuri diferite de sarcină de culoare — de pildă, un q_r (roşu) şi un q_b (albastru)? Răspunsul este că se atrag reciproc. Această forţă de atracţie face aşa încât combinaţia (q_r,q_g,q_b), în care fiecare din cei trei cuarci e de culoare diferită — şi e atras de ceilalţi doi —, să fie deosebit de puternic legată şi stabilă; de aici existenţa barionilor.

Dar de ce nu avem şi combinaţia (q,q,q,q)? Deoarece, dat fiind că există trei tipuri de sarcină de culoare, cel de-al patrulea cuarc ar avea acelaşi tip de sarcină de culoare ca unul dintre ceilalţi trei aflaţi deja în barion. Ar fi deci respins de cel cu sarcină identică. Se dovedeşte că această forţă de respingere anulează complet atracţia pe care o resimte cel de-al patrulea cuarc din partea celorlalţi doi cuarci de culori diferite. Prin urmare, nu se ataşează.

Acum începem să înţelegem de ce s-a dat numele de „culoare" acestei sarcini. La fel cum un atom este neutru din punct

de vedere electric, combinaţiile de cuarci permise trebuie să fie neutre din punctul de vedere al culorii — să fie „albe". Există două căi de a amesteca culorile pentru a obţine albul. Fie se combină o culoare cu complementara (sau negativa) ei, fie se combină cele trei culori primare. Dar exact acestea sunt regulile de combinare ale sarcinilor de culoare pentru a produce combinaţiile neutre: mezonii şi barionii.

Rezumând, cuarcii posedă o cantitate pozitivă de r, b sau g, în timp ce anticuarcii posedă cantitatea negativă sau complementară: $\bar{r}$, $\bar{b}$ sau $\bar{g}$. Sarcinile identice se resping, astfel, de exemplu r îl respinge pe r, iar $\bar{g}$ îl respinge pe $\bar{g}$. Sarcinile opuse se atrag, adică $\bar{r}$ îl atrage pe r. În fine, sarcinile de tip diferit se atrag.

Mai rămâne acum să ne punem întrebarea legată de absenţa cuarcilor izolaţi. Pentru a răspunde, trebuie să înţelegem mai profund natura forţelor de culoare şi a forţelor în general.

În spiritul fizicii cuantice, unde interacţiunile au loc discret şi nu continuu, mecanismul prin care o forţă — *orice* forţă — este transmisă de la o particulă la alta implică schimbul unei a treia particule intermediare. Putem să ne închipuim că particula 1 emite particula intermediară în direcţia particulei 2, iar în cursul procesului suferă un recul — la fel ca reculul puştii în direcţia opusă deplasării glonţului. Recepţionând intermediara, particula 2 îi preia impulsul, ceea ce o face să reculeze, îndepărtându-se de particula 1. Efectul total al acestui schimb este că ambele particule se îndepărtează una de alta. Procesul se repetă atunci când particula intermediară e trimisă înapoi; are loc o nouă îndepărtare. Efectul net este că cele două particule se resping; altfel spus, ele se află sub acţiunea unei forţe repulsive.

Ce se întâmplă cu forţele de atracţie? În linii mari, este implicat acelaşi mecanism, dar de această dată — dacă vreţi neapărat să avem o analogie — trebuie să ne imaginăm că particulele aruncă bumeranguri, nu trag gloanţe! Particula 1 emite o intermediară în direcţia *opusă* celei în care se află par-

ticula 2, suferind astfel un recul *către* această particulă; ultima primește intermediara de asemenea din direcția opusă, și astfel e împinsă spre particula 1.

În cazul forțelor electrice dintre două sarcini, particula intermediară este fotonul. Cele două sarcini se resping sau se atrag datorită schimbului repetat de fotoni.

Aceasta ne îndeamnă să ne întrebăm dacă nu cumva și forța tare dintre cuarci ar putea fi explicată în termenii schimbului unui anume tip de particulă intermediară. Răspunsul este da; cuarcii sunt ținuți laolaltă în hadroni prin schimbul unor particule numite *gluoni* [*glue* = lipici]. (Cred că nu mai e nevoie să explic originea acestui nume!) Există opt tipuri diferite de gluoni. Aceasta deoarece, în procesul schimbului unui gluon, cuarcii își păstrează sarcina electrică fracționară și numărul barionic fracționar, dar pot schimba între ei sarcina de culoare. Gluonul emis de primul cuarc ia cu sine sarcina de culoare inițială a acestui cuarc. Dar cuarcul nu poate rămâne fără culoare, așa că în momentul în care își pierde culoarea inițială, primește culoarea unui al doilea cuarc. Ajungând la al doilea cuarc, gluonul anulează sarcina de culoare inițială a acestuia, transferându-i sarcina de culoare luată de la primul cuarc. Rezultatul net este că cei doi cuarci au făcut schimb de sarcini de culoare.

Pentru ca aceste transformări să aibă loc, gluonii trebuie să posede o sarcină de culoare și o sarcină de culoare complementară. De exemplu, un gluon $G_{r\bar{b}}$ va avea sarcinile r și $\bar{b}$. El poate lua parte la transformările următoare:

$$u_r \rightarrow u_b + G_{r\bar{b}} \quad \text{urmată de } G_{r\bar{b}} + d_b \rightarrow d_r$$

Existând trei sarcini de culoare și trei culori complementare, rezultă $3 \times 3 = 9$ posibilități diferite de combinații ale unei culori cu o culoare complementară. Ele se separă într-un octet și un singlet. (Să ne amintim de octetul și singletul pe care le-am întâlnit atunci când am atribuit mezonilor reprezentările grupului SU(3)). Starea de singlet pentru gluoni ar corespunde unui amestec de $r\bar{r}$, $b\bar{b}$ și $g\bar{g}$. Fiind neutru din punctul de vedere

al culorii, nu va interacţiona cu cuarcii, iar din acest motiv îl vom neglija. Rămâne octetul, adică opt gluoni în total.

Gluonii, ca şi fotonii, nu au masă. Dar, spre deosebire de fotoni care nu sunt încărcaţi electric, ei au sarcină de culoare. Gluonii interacţionează nu numai cu cuarcii, ci şi *cu ei înşişi*. Aceasta face să se schimbe dramatic caracterul forţei pe care o transmit. În timp ce forţele electrice slăbesc cu distanţa dintre sarcinile electrice (scad invers proporţional cu pătratul distanţei dintre ele), forţa de culoare are aceeaşi valoare indiferent de distanţă (cu excepţia cazului în care sarcinile de culoare sunt foarte apropiate, când forţele devin aproape inexistente — ca un elastic neîntins ale cărui capete sunt apropiate). Astfel, atunci când cuarcii sunt împreună la mică distanţă, între ei nu acţionează forţe mari. Dacă însă distanţa creşte, forţa îşi atinge valoarea constantă.

Ţinând cont de toate acestea, să ne întoarcem la întrebarea de ce nu se găsesc cuarci izolaţi. Să presupunem că încercăm să separăm doi cuarci. Din cauza forţei constante dintre ei, e nevoie de tot mai multă energie pentru a creşte distanţa dintre ei. În cele din urmă, ajungem în punctul în care trebuie să punem atât de multă energie pentru a întinde legătura dintre doi cuarci, încât e suficientă pentru a crea o pereche cuarc-anticuarc. Şi exact asta se întâmplă: legătura se rupe şi se creează o pereche. Anticuarcul noii perechi împreună cu cuarcul expulzat formează un mezon, în timp ce cuarcul noii perechi rămâne în hadron luând locul cuarcului iniţial. Situaţia seamănă cu ce se întâmplă cu o bară magnetică dacă vrem să izolăm polul nord de polul sud. Rupând magnetul în două, apar noi poli nord şi sud şi avem acum doi magneţi; nu ne-am apropiat deloc de scopul propus de a obţine un pol izolat. În mod asemănător, ruperea legăturii dintre cuarci nu duce la izolarea unui cuarc.

Am spus că protonii şi neutronii sunt neutri din punctul de vedere al culorii. Şi totuşi există o forţă de atracţie între ei. Această forţă contracarează respingerea electrostatică dintre protonii încărcaţi pozitiv din nucleu şi este cea care ţine nucleul legat. Pentru a înţelege cum apare această forţă tare din-

tre nucleoni, să ne amintim că, deși sunt neutri electric, atomii formează moleculele compuse. Această forță cunoscută sub numele de forță Van der Waals apare prin rearanjarea electronilor fiecărui atom astfel încât să fie parțial atrași de nucleul altui atom. Se generează o forță externă reziduală capabilă să țină atomii legați împreună. În același fel, cuarcii dintr-un nucleon se pot aranja așa încât să producă o forță externă capabilă să atragă constituenții nucleonului vecin — în ciuda faptului că fiecare nucleon este neutru din punctul de vedere al sarcinii de culoare. Vedem deci că forța tare ce acționează între nucleoni trebuie privită drept o „scurgere" a forței gluonice, mai profundă, care acționează între cuarci, constituenții nucleonilor.

Forța tare sau forța gluonică își are locul între diferitele tipuri de forțe din natură. În ceea ce privește forțele gravitațională, electrică și magnetică, acestea sunt forțe cu rază lungă de acțiune și astfel dau naștere unor efecte macroscopice ușor observabile — orbitele planetelor și emisia de unde radio, pentru a menționa numai două exemple. Forța tare, pe de altă parte, are o rază scurtă, acționând la distanțe de numai 10^{-15} metri — dimensiunea tipică a nucleului. Faptul că are o rază de acțiune atât de scurtă a făcut-o să fie mult mai greu de pus în evidență.

Aș dori acum să vă prezint o nouă forță: forța slabă. Nu e slabă în sensul că tăria ei intrinsecă ar fi mai mică decât a forțelor electrică și magnetică; pare slabă datorită faptului că acționează la distanțe încă și mai mici decât forța tare: doar la 10^{-17} metri. În ciuda razei de acțiune limitate, joacă un rol important. De exemplu, există un lanț de reacții nucleare prin care hidrogenul, H, poate fi transformat în heliu, He, cu eliberare de energie. Aceste reacții au loc în soare și reprezintă sursa noastră de energie. Interacția slabă e răspunzătoare de prima dintre aceste reacții:

$$p + p \rightarrow {}^2H + e^+ + \nu_e$$
$${}^2H + p \rightarrow {}^3He + \gamma$$
$${}^3He + {}^3He \rightarrow {}^4He + p + p$$

unde γ este un foton de mare energie numit rază gama, ^2H este un deuteron constând dintr-un proton şi un neutron, iar ν_e este un neutrin.

Forţa slabă e de asemenea răspunzătoare pentru dezintegrarea neutronului liber:

$$n \rightarrow p + e^- + \overline{\nu}_e$$

unde $\overline{\nu}_e$ este un antineutrin.

Vă puteţi întreba ce are a face toată această discuţie despre o „forţă" cu particule care se transformă unele într-altele. Ar trebui probabil să explic că, *de fiecare dată* când particulele se afectează unele pe altele — în orice fel —, fizicienii spun că faptul se datorează unei „forţe" sau unei „interacţii". Aceasta se aplică nu numai schimbării în mişcarea lor (contextul obişnuit în care spunem că acţionează forţele), dar şi schimbării identităţii particulelor.

Aşa cum am menţionat mai devreme, spre deosebire de hadroni, electronii şi neutrinii nu simt forţa tare. Aceasta pentru că nu au sarcină de culoare. Neavând sarcină electrică, neutrinul nu e supus nici forţei electrice. Faptul că neutrinii participă totuşi la interacţii cu alte particule dovedeşte că trebuie să avem în vedere un alt tip de interacţie — forţa slabă.

Spunem că e^- şi ν_e sunt „leptoni electronici", având numărul leptonic de tip electron +1. Fiecare dintre aceste particule are antiparticula sa, e^+ şi respectiv $\overline{\nu}_e$, iar acestea au numărul leptonic de tip electron –1. Acest număr leptonic se conservă în interacţii la fel cum se conservă numărul barionic *B* în cazul hadronilor — puteţi verifica în reacţiile de mai sus. Deoarece au acelaşi număr leptonic, în ce priveşte forţa slabă nu există vreo diferenţă între e^- şi ν_e.

De ce vorbim despre *leptoni electronici*? Deoarece există şi alte tipuri de leptoni. Există miuonul, μ, şi există neutrinul miuonic, ν_μ; apoi există particula tau, τ, cu neutrinul de tip tau, ν_τ. Aceştia au propriul lor tip de număr leptonic, care de asemenea trebuie să se conserve în reacţii. Ajungem deci la concluzia că leptonii formează trei dubleţi.

Cuarcii apar de asemenea în dubleţi. La fel cum am spus mai sus că protonul şi neutronul formează un dublet de izospin (stări încărcate diferit ale aceleiaşi particule, nucleonul), cuarcii u şi d (din care sunt alcătuiţi p şi n) formează un dublet. Acelaşi lucru e valabil şi pentru ceilalţi cuarci: s formează un dublet cu c, iar t face echipă cu b.

De fapt, există o legătură între dubleţii de izospin ai cuarcilor şi dubleţii „de izospin slab" ai leptonilor. Ei formează împreună trei generaţii (familii), după cum se vede în Tabelul 2.

La fel ca în cazul interacţiei tari, interacţia slabă conservă întotdeauna cantităţile precum sarcina electrică, numărul barionic şi numărul leptonic. Dar, spre deosebire de interacţia tare, *nu* trebuie neapărat să conserve aroma (flavour) cuarcilor. Astfel, de exemplu, dezintegrarea unui neutron (u,d,d) într-un proton (u,u,d) se datorează unui cuarc d ce-şi schimbă aroma şi devine cuarcul ceva mai uşor u — surplusul de energie fiind emis. Acelaşi lucru se aplică la hadroni cu top, bottom, farmec şi stranietate. Curând după crearea lor în ciocniri la energii înalte, cuarcii lor t, b, c sau s se transformă în cuarci mai uşori de aromă diferită. De exemplu, dezintegrarea particulei stranii Λ^0 (s,u,d):

$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$$

implică transformarea cuarcului s într-un cuarc u. De aceea este imposibil să aduni rezerve din noile particule; imediat ce sunt

Tabelul 2. *Generaţiile de dubleţi de cuarci şi de leptoni*

Generaţia	Prima	A doua	A treia	Sarcina
Cuarci	u	c	t	$\frac{2}{3}$
	d	s	b	$-\frac{1}{3}$
Leptoni	e^-	μ^-	τ^-	-1
	ν_e	ν_μ	ν_τ	0

create se dezintegrează în particule mai uşoare. Acesta e motivul pentru care materia ce alcătuieşte lumea noastră este aproape exclusiv compusă din cei mai uşori doi dintre cuarci, u şi d, la care se adaugă electronul.

Pentru a afla mai multe despre forţa slabă, trebuie să ne reamintim etapele parcurse. Când am vorbit pentru prima dată despre forţele din natură, am menţionat forţele electrică şi magnetică separat. Aşa au fost ele privite iniţial — ca tipuri diferite de forţe. Geniul lui James Clerk Maxwell a izbutit prin anii 1860 să reunească toate fenomenele electrice şi magnetice şi a descoperit că pot fi explicate în termenii unei singure forţe — forţa *electromagnetică*.

Dar procesul de unificare a forţelor nu s-a oprit aici. Steven Weinberg (1967) şi Abdus Salam (1968), bazându-se pe cercetările anterioare ale lui Sheldon Glashow, au creat o teorie elegantă conform căreia forţele electromagnetică şi slabă nu erau decât două manifestări diferite ale unei singure forţe, forţa *electroslabă*.

Pentru ca aceasta să fie cu putinţă, forţa slabă, la fel ca celelalte forţe despre care am vorbit, trebuie să fie mediată de schimbul unor anumite particule. Teoria a prezis existenţa a trei particule: W^+, W^- şi Z^0. La data aceea nu se cunoştea nici una dintre aceste particule.

Teoria a fost confirmată spectaculos în 1983 prin descoperirea lor. Ca şi celelalte noi particule, ele sunt foarte instabile, dezintegrându-se de pildă pe următoarele căi:

$$W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e \quad \text{sau} \quad Z^0 \rightarrow \nu_e + \bar{\nu}_e$$

Dezintegrarea lui Z^0 se dovedeşte deosebit de interesantă. Nu numai că se dezintegrează în $(\nu_e + \bar{\nu}_e)$, dar şi în $(\nu_\mu + \bar{\nu}_\mu)$, $(\nu_\tau + \bar{\nu}_\tau)$, sau în orice altă pereche de tip neutrin/antineutrin care ar putea exista în afara celor trei cunoscute. Cu cât sunt deschise mai multe canale, cu atât mai repede se va dezintegra Z^0. Astfel, timpul de viaţă al lui Z^0 este un mijloc fin de estimare a numărului de combinaţii neutrin/antineutrin care tre-

buie să existe. Timpul de viaţă măsurat indică doar trei tipuri de neutrini — cele deja descoperite. De aici rezultă că există doar trei dubleţi leptonici.

Mai mult, pentru că dubleţii de leptoni sunt grupaţi împreună cu dubleţii de cuarci pentru a forma generaţii (familii), pare rezonabil să presupunem că e foarte probabil să existe doar trei dubleţi de cuarci. Cu alte cuvinte, numărul aromelor (flavours) de cuarci este limitat la şase. Acest lucru e important. O trăsătură stânjenitoare a cuarcilor fusese că fiecare nou tip descoperit era mai greu decât precedentul: u (5 MeV); d (10 MeV); s (180 MeV); c (1,6 GeV); b (4,5 GeV) şi t (180 GeV). Cuarci grei presupun hadroni grei care să-i conţină. Iar cu cât un hadron e mai greu, cu atât e mai dificil de produs. Acest lucru îi îngrijorase pe fizicieni: puteau exista arome despre care să nu aflăm niciodată pentru că nu avem resurse să le producem. (Cât de mare e sincrotronul pe care îl putem construi, fără ca întregul produs brut al planetei să fie înghiţit de bugetul fizicii energiilor înalte?!) Mulţumită lui Z^0 însă, această problemă a dispărut; avem acum motive temeinice să credem că există doar cele şase arome cunoscute.

Astfel, inventarul particulelor elementare arată în felul următor:

(i) Şase cuarci şi şase leptoni;
(ii) Douăsprezece particule intermediare: opt gluoni, fotonul, $W^{\pm}$ şi Z^0.

Am ajuns astfel la aşa-numitul *Model Standard* al fizicii particulelor elementare — o teorie care înglobează tot ce am spus despre constituenţii naturii şi forţele care acţionează între ei. Este o realizare măreaţă. Toate experimentele efectuate până acum sunt în acord cu Modelul Standard.

Ce putem spune despre viitor?

O direcţie importantă de investigare se leagă de unificarea forţelor. La fel cum au fost unificate forţele electrică şi magnetică, iar forţa electromagnetică rezultantă a fost mai târziu unificată

cu forţa slabă, poate că forţa electroslabă şi forţa tare vor fi într-o bună zi considerate manifestări diferite ale unei interacţii comune. S-a descoperit că, pe măsură ce ne îndreptăm spre energii tot mai înalte, tăria forţelor tare şi slabă scade, în timp ce cea a forţei electromagnetice creşte; ele par să fie convergente. Conform teoriei favorite în momentul de faţă, aceste forţe vor deveni comparabile în jurul energiei de 10^{15} GeV. Dacă se va dovedi că aşa stau lucrurile, vom avea de-a face cu o singură *mare forţă unificată*. (Îmi cer scuze pentru folosirea acestor cuvinte mari, dar chiar aşa se cheamă!)

O problemă e faptul că 10^{15} GeV este o energie pe care nu vom putea spera niciodată s-o obţinem în laborator (sincrotronul ar trebui să fie prea mare). În prezent, limita energiei la care putem ajunge este de 10^3 GeV. Dar nu e totul pierdut. Deşi asemenea condiţii energetice sunt de neatins, ne aşteptăm să existe efecte reziduale care se manifestă la energii obişnuite.

De exemplu, conform unei scheme teoretice propuse, protonul s-ar dezintegra după o perioadă lungă de timp prin reacţia

$$p \rightarrow e^+ + \pi^0$$

S-au făcut cercetări pentru a găsi semne de instabilitate a protonului, dar deocamdată fără succes. Cu toate acestea, dezintegrarea protonului e privită ca una dintre căile prin care am putea explora aspecte ale marii unificări fără să fim obligaţi să ajungem la energii ultraînalte.

Trebuie totuşi să spun că, deşi nu suntem capabili să obţinem asemenea condiţii în laborator, a existat o vreme când ele puteau fi întâlnite. Mă refer la starea universului imediat după big bang. La acel moment universul consta dintr-un amestec dens de particule fundamentale care se mişcau aleatoriu şi se ciocneau unele de altele. Temperaturile erau enorme — ceea ce înseamnă că ciocnirile particulelor erau caracterizate de energii excepţional de mari — acele energii despre care vorbeam.

Astfel, avem în vedere un stadiu timpuriu al universului („timpuriu" însemnând 10^{-32} secunde!) când temperatura era

de 10^{27} K, iar energiile particulelor de 10^{15} GeV. La acel moment, forțele electromagnetică, tare și slabă aveau tării egale. Pe măsură ce universul se dilata, el se răcea. Exista acum mai puțină energie disponibilă pentru ciocniri și devenea mai dificilă crearea particulelor mai grele. Aceasta a făcut ca diferitele forțe să-și dobândească propria lor natură distinctă. Fenomenul poartă numele de „rupere spontană de simetrie".

Dați-mi voie să fac o analogie. Când apa se răcește sub punctul de înghet, ea suferă o tranziție de fază — se formează cristalele de gheață. Dacă în stare lichidă toate direcțiile sunt echivalente, în cristal există axe bine definite. Asta înseamnă că, în cursul cristalizării, trebuie alese anumite direcții în spațiu pentru aceste axe. Nu au însă nimic deosebit aceste direcții; alegerea e arbitrară. Un al doilea cristal care se formează altundeva în apă va alege aproape sigur o altă orientare. Astfel, deși axele sunt o trăsătură cât se poate de pregnantă a cristalului, direcțiile lor nu au vreo semnificație deosebită. Ele ascund faptul că la nivel fundamental toate direcțiile sunt echivalente; există o simetrie perfectă la rotație. Spunem că simetria inițială a apei a fost ruptă întâmplător sau „spontan"; acum ea este ascunsă.

Același lucru se întâmplă și cu forțele. Pe măsură ce amestecul de particule interacționând între ele se răcește, el suferă un fel de „tranziție de fază". Caracteristicile foarte diferite ale forțelor tare, electromagnetică și slabă devin manifeste — acestea fiind diferențele care fac ca forțele să pară atât de puțin asemănătoare la energiile joase caracteristice lumii pe care noi o cunoaștem. Dar, așa cum am mai spus, nu este nimic profund în aceste diferențe; ele nu trebuie să ascundă privirii noastre simetria mai adâncă pe care o au în comun — cea a marii forțe unificate.

Din păcate, văd că timpul expunerii se apropie de sfârșit. Ar fi încă multe de spus. De pildă, n-am vorbit despre motivele pentru care particulele elementare au masa pe care o au. Alt subiect fascinant este cel al *monopolilor magnetici*. După

cum ştiţi, ei nu pot fi creaţi rupând un magnet în două. Dar asta nu înseamnă că nu pot fi produşi pe alte căi. Cel care a sugerat primul această posibilitate a fost Paul Dirac, iar acum ea este prezisă de marea teorie unificatoare.

O extindere a Modelului Standard care pare promiţătoare este teoria *supersimetriilor*. Ea încearcă să răspundă la întrebarea dacă distincţia dintre particulele intermediare de schimb (precum gluonii, fotonii, particulele W şi Z), pe de o parte, şi particulele care fac schimbul (cuarcii şi leptonii), pe de altă parte, este atât de netă pe cât am prezentat-o noi.

În final aş dori să menţionez *supercorzile* [*superstrings*]. Ele se bazează pe ideea că particulele fundamentale — cuarcii şi leptonii —, deşi par punctiforme, nu sunt în realitate puncte, ci „corzi" minuscule. Se aşteaptă să fie incredibil de mici — nu mai mari de 10^{-34} metri lungime —, dar esenţial e faptul că nu sunt simple puncte, aşa cum am presupus până acum.

După cum vă daţi seama, cu aceste ultime perspective am ajuns pe tărâmul speculaţiilor. Nimeni nu poate şti dacă în viitor vreuna din ele va fi acceptată, dobândind statutul pe care îl are în prezent Modelul Standard. Nu ne rămâne decât să aşteptăm.

17 Epilog

Fusese o zi caldă, însorită — ideală ca să stai în grădină. Dar acum se lăsa seara. Lumina scăzând, domnul Tompkins puse jos cartea pe care o citea.

— Ce faci? Pot să mă uit? o întrebă pe Maud, care desena lângă el.

— De câte ori să-ţi spun că nu-mi place să arăt lucrările până nu sunt gata?

— O să-ţi strici ochii la lumina asta.

Ea îşi ridică privirea.

— Dacă vrei să ştii, caut idei pentru sculptură.

— Care sculptură?

— Cea pentru laborator.

— Care laborator? Ce-ai de gând?

— Laboratorul pe care l-am vizitat... Ah, am uitat să-ţi spun. Iartă-mă. Ştii, în timp ce pe tine te bandaja asistenta, am stat de vorbă cu domnul Richter — şeful de la Relaţii cu Publicul. Aşa, ca să mai treacă vremea. I-am spus în glumă că le lipseşte o sculptură în curte, chiar în faţa intrării vizitatorilor. Mi-a zis că şi el se gândise la asta. Am început să-i vorbesc despre munca mea. Părea interesat mai ales de lucrările arse cu lampa de sudură. S-a gândit că ar putea sugera temperaturi ridicate, energii înalte, ciocniri violente, mă rog, ceva în genul ăsta. Sculptura ar trebui să simbolizeze activitatea de acolo; nu vor să pună orice sculptură.

— Vrei să spui că ai primit o comandă? întrebă emoţionat domnul Tompkins.

— Oh, nu, spuse Maud zâmbind. Nu e aşa simplu. Trebuie mai întâi să desenez nişte schiţe, să vin cu idei, să fac o ofertă. Ei ar putea încerca şi cu alţii. Mai avem de aşteptat. Părea mirat că mă interesează fizica. S-a gândit că asta m-ar putea ajuta să găsesc ceva relevant. Bineînţeles că ştia cine e tata; *şi asta* mi-ar putea fi de folos, adăugă ea râzând.

Maud puse deoparte mapa cu schiţe. Priveau împreună cum răsăreau primele stele.

— Te-ai întrebat vreodată dacă ai făcut bine atunci când te-ai lăsat de fizică? zise domnul Tompkins.

— O vizită ca asta te pune într-adevăr pe gânduri, spuse ea după un moment de ezitare. Să faci ştiinţă la cel mai înalt nivel... Dar nu, nu chiar... Mă rog, sunt sigură că m-aş fi simţit foarte bine să lucrez într-un asemenea loc fascinant, fermecător. Dar nu ştiu ce să zic. Să lucrezi în echipe mari la experimente care durează cinci, şase sau şapte ani... Nu cred că aş avea răbdare.

— Tot nu-mi revin după ce-am văzut cât de mare poate să fie acceleratorul, gândi domnul Tompkins cu voce tare. Ciudat lucru: cu cât e mai mic obiectul pe care vrei să-l cercetezi, cu atât maşinăria e mai mare.

— Eu cred că şi mai ciudat e faptul că, pentru a examina cele mai mici fărâme de materie, trebuie să priveşti întreg universul. Şi invers: cheia înţelegerii universului se află în studiul proprietăţilor celor mai mici constituenţi ai săi.

— Ce vrei să spui?

— Toată povestea aceea cu ruperea spontană de simetrie în universul timpuriu. Se leagă de teoria inflaţionară, motivul pentru care densitatea universului e aproape de densitatea critică. Doar ţi-am vorbit despre asta. Să nu-mi spui că ai uitat.

— Nu, nu. De *asta* îmi aduc aminte. Dar nu văd legătura... zise domnul Tompkins nedumerit.

— Îţi aminteşti ce spunea tata despre tranziţia de fază atunci când forţele încep să capete trăsăturile lor distinctive, continuă ea. Seamănă cu formarea cristalelor de gheaţă.

El dădu din cap.

— Ei bine, atunci când îngheaţă, apa se dilată. La fel şi cu universul; când se răceşte are loc tranziţia de fază, iar universul intră într-o stare de dilatare foarte rapidă, pe care o numim „inflaţie", pentru ca apoi să se stabilizeze la tipul de expansiune pe care îl observăm astăzi. Perioada inflaţionară a durat doar 10^{-32} secunde, dar a fost crucială. Atunci a luat fiinţă cea mai mare parte a materiei din univers...

— Stai puţin, o întrerupse domnul Tompkins. Cea mai mare parte a materiei?... Dar eu credeam că toată materia a fost creată chiar în momentul big bang-ului.

— Nu. La începutul începutului a existat puţină materie. Cea mai mare parte a apărut la foarte scurt timp după aceea.

— Cum?

— Ei bine, ştii că atunci când îngheaţă apa se eliberează energie — căldura latentă. Aşa s-a întâmplat şi la tranziţia de fază inflaţionară; s-a eliberat energie — energie folosită pentru a produce materia. Mai mult, mecanismul de producere a materiei a funcţionat aşa încât să se obţină exact cantitatea corespunzătoare densităţii critice. Doar ştii ce semnificaţie are densitatea critică.

— Determină soarta universului, răspunse domnul Tompkins. Galaxiile vor încetini şi se vor opri, dar asta doar într-un viitor infinit.

— Aşa e. Prin urmare, cheia înţelegerii originii materiei din univers şi a viitorului său pe termen lung stă în fizica particulelor elementare — fizica lucrurilor foarte mici. Şi nu e numai asta. Ştim că, pentru ca densitatea să aibă valoarea critică, cea mai mare parte a materiei din univers trebuie să fie materie întunecată. Încă nu ştim din ce constă ea. S-ar putea ca neutrinii să contribuie, dacă au masă; s-ar putea să fie alcătuită şi din unele particule masive interacţionând slab, deocamdată

necunoscute, rămase din interacţiile big bang-ului. Nu putem decât să sperăm că vom răspunde la aceste întrebări cu ajutorul fizicii energiilor înalte.

— Am înţeles.

— Iar această relaţie fecundă de interdependenţă funcţionează şi în celălalt sens. Singura cale de a examina comportamentul particulelor fundamentale la energiile marii unificări e să aflăm ce s-a întâmplat imediat după big bang — în singurul moment din istoria universului când aceste energii au fost atinse.

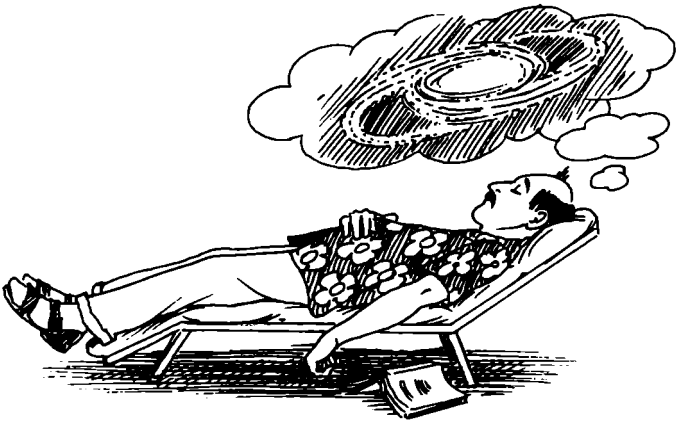
Domnul Tompkins căzu pe gânduri.

— Este într-adevăr uimitor cum se leagă toate, murmură el încântat. Toate lucrurile pe care le-am învăţat în seria de lecţii se leagă între ele: particulele fundamentale şi cosmologia; fizica energiilor înalte şi teoria relativităţii; particulele fundamentale şi teoria cuantică. În ce lume extraordinară trăim!

— Ai mai putea adăuga la lista ta cosmologia şi fizica cuantică, spuse Maud. Aminteşte-ţi că fizica cuantică are cele mai mari efecte la scara cea mai mică, iar universul însuşi a început prin a fi mic. Fizica cuantică a avut de la bun început cuvântul hotărâtor. Gândeşte-te apoi la radiaţia cosmică de fond de microunde. La prima vedere pare uniformă — aceeaşi în toate direcţiile. Dar nu e chiar aşa. Dacă ar fi absolut uniformă, ar însemna ca materia care a emis-o să fi fost uniformă. Iar asta nu poate fi adevărat. Fără o oarecare neomogenitate în densitatea distribuţiei de materie nu ar fi existat centre în jurul cărora să se formeze mai târziu galaxiile şi roiurile de galaxii. De fapt, chiar *există* neomogenităţi. Ele sunt de ordinul lui 10^{-5}. Foarte mici, dar vitale. Aceste neomogenităţi stabilesc tiparul structurii la scară mare a universului — roiuri şi superroiuri de galaxii, ba chiar şi existenţa galaxiilor. Acum întrebarea crucială este: ce anume a determinat distribuţia acestor neomogenităţi iniţiale? Ei bine, datorită dimensiunilor extrem de mici ale universului la începuturi, ele trebuie să-şi fi avut originea în

fluctuaţiile cuantice. Ar fi într-adevăr fascinant dacă s-ar dovedi că aceste fluctuaţii cuantice minuscule se reflectă în structura la scară mare a întregului univers...

Glasul ei s-a stins. Zgomotul unui uşor sforăit venind dinspre celălalt şezlong i-a spus că nu mai avea rost să continue.



Glosar

Accelerator: instalație care accelerează particule încărcate electric folosind *câmpuri* electrice. Adesea traiectoria particulelor este curbată circular cu ajutorul câmpurilor magnetice. Vezi *sincrotron*.

Amestec de îngheț: abundența relativă a diferitelor tipuri de *nuclee* atomice care au apărut după *big bang*, atunci când densitatea și temperatura au scăzut până la nivelul la care *nucleosinteza* primordială a încetat; cunoscut și sub denumirea de „abundență nucleară primordială".

Antiparticulă: pentru orice tip de particulă există o antiparticulă având aceeași masă și același spin, dar valori opuse pentru alte proprietăți, cum ar fi *sarcina electrică, numărul barionic, stranietatea, numărul leptonic* etc.

Aromă (flavour): calitatea care face distincția între diferitele tipuri de *cuarci*: *up (sus), down (jos), strange (straniu), charm (farmec), top (sus) și bottom (jos)*.

Atom: un *nucleu* înconjurat de un nor de *electroni*.

Barieră de potențial: o particulă încărcată pozitiv care se apropie de un *nucleu* va resimți mai întâi o forță electrostatică de respingere din ce în ce mai mare, datorită *sarcinii electrice* pozitive a *protonilor* din nucleu. Pe măsură ce se apropie, va intra în raza de acțiune a *forțelor nucleare tari*, atractive, care în cele din urmă devin dominante, rezultatul fiind atracția. Astfel, apropierea particulei de nucleu seamănă cu încercarea de a trece de o barieră.

Barion: un *hadron* alcătuit din trei *cuarci*.

Big bang (marea explozie): teoria general acceptată conform căreia universul a apărut acum 12 miliarde de ani dintr-un punct de densitate enormă de energie; de atunci el se dilată și se răcește.

Bottom (*b*) (jos): *numărul cuantic* care stabilește câți *cuarci* cu *aroma* bottom sunt prezenți.

Calea Lactee: numele *galaxiei* noastre.

Câmp: mărime fizică a cărei valoare diferă de la un punct la altul în spaţiu şi posibil şi în timp. Două particule interacţionează între ele resimţind, fiecare în locul în care se află, câmpul generat de cealaltă. Există, de exemplu, câmpuri *electromagnetice, slabe* şi *tari* (*de culoare*).

Charm (*c*) **(farmec)**: *numărul cuantic* care stabileşte câţi *cuarci* cu *aroma* charm sunt prezenţi.

Constanta lui Planck (*h*): constantă fizică fundamentală care apare, de exemplu, în *relaţia de incertitudine a lui Heisenberg*. Are valoarea $h = 6{,}626 \times 10^{-34}$ Joule secunde.

Contracţia lungimii: conform teoriei speciale a *relativităţii* a lui Einstein, un obiect care se mişcă faţă de un observator se comportă ca şi cum lungimea lui s-ar contracta de-a lungul direcţiei de mişcare.

Cuantă: particulă care este fie unul dintre constituenţii fundamentali ai materiei (de exemplu *cuarc* sau *lepton*), fie o particulă intermediară — de schimb — (cum ar fi un *foton* sau *gluon*) răspunzătoare pentru transmiterea unei forţe.

Cuarc: constituentul fundamental al tuturor *hadronilor*. Există şase varietăţi sau *flavours (arome)*, grupate în trei *familii (generaţii)*.

Demonul lui Maxwell: creatură ipotetică în stare să separe particulele rapide de cele lente în încercarea de a contrazice cea de-a doua lege a termodinamicii — legea care cere ca *entropia* să crească întotdeauna.

Densitate critică: densitatea medie a universului care marchează graniţa dintre două scenarii posibile ale viitorului: expansiune veşnică sau expansiune urmată de contracţie. Dacă *teoria inflaţionară* e corectă, densitatea universului are această valoare critică (10^{-26} kg m^{-3}).

Deplasarea spre roşu gravitaţională: deplasarea *frecvenţei* atunci când *radiaţia electromagnetică* se mişcă împotriva unui *câmp* gravitaţional, de exemplu atunci când e emisă de pe suprafaţa unei stele. Există o deplasare spre capătul albastru al spectrului atunci când radiaţia se propagă „în jos" în câmpul gravitaţional.

Detector: echipament care ne permite să vizualizăm traiectoriile particulelor încărcate. Urmele pot fi materializate prin picături într-o cameră cu ceaţă, bule într-o cameră cu bule, scântei, scintilaţii etc., în funcţie de tehnica folosită. Detectorii moderni încorporează o serie de metode prin care se identifică diferitele tipuri de particule.

Deuteron: *nucleul* de deuteriu — un tip de *hidrogen* în care nucleul constă dintr-un *proton* şi un *neutron*, în loc de obişnuitul singur proton.

Dezintegrare nucleară radioactivă: transformarea spontană a unui *nucleu* greu în particule mai uşoare.

Difracţie: proprietate caracteristică pentru comportamentul ondulatoriu. La trecerea printr-o fantă dintr-o barieră, undele se extind şi se suprapun într-o umbră geometrică.

Dilatarea timpului: conform teoriei speciale a *relativităţii* a lui Einstein, un obiect, de pildă o navă spaţială sau o particulă radioactivă, aflat în mişcare relativă faţă de un observator se comportă ca şi cum procesele care au loc în el s-ar desfăşura mai lent.

Efect fotoelectric: procesul prin care *fotoni* de mare energie ai luminii ultraviolete care lovesc o suprafaţă metalică pot scoate din ea *electroni*.

Electron: cel mai uşor *lepton* încărcat electric, un constituent al *atomului*.

Electron de valenţă: un electron slab legat de la periferia *atomului*, care poate fi parţial atras de *nucleul* unui atom vecin, producând astfel o forţă ce leagă atomii între ei pentru a forma o *moleculă*.

Electron-volt (eV)**:** unitate de energie echivalentă cu energia acumulată de un *electron* atunci când e accelerat de o diferenţă de potenţial de un volt.

Elemente chimice: există 92 de elemente chimice naturale, fiecare caracterizat de tipul lui propriu de *atom*. Aceşti atomi diferă prin numărul de *electroni* pe care îi au, ca şi prin numărul de *protoni* şi *neutroni* din *nucleu*.

Energie potenţială gravitaţională: componentă a energiei particulei care rezultă din poziţia ei într-un *câmp* gravitaţional.

Energie de punct zero: cea mai mică energie pe care o poate avea un sistem fizic. Conform *teoriei cuantice*, această energie trebuie să fie finită — nu zero. Un *electron* dintr-un *atom*, de exemplu, poate avea o poziţie precisă în spaţiu. O asemenea cunoaştere a poziţiei exclude posibilitatea de a cunoaşte *impulsul* cu precizie (conform *relaţiei de incertitudine a lui Heisenberg*). Aceasta înseamnă că impulsul electronului, deci şi energia sa, nu poate fi cunoscut ca fiind exact zero.

Entropie: proprietate folosită în termodinamică drept măsură a dezordinii unui sistem de particule.

Familie (generaţie): constă din doi cuarci şi doi leptoni. Există trei generaţii: (u, d, e^-, ν_e), (c, s, μ^-, ν_μ) şi (t, b, τ^-, ν_τ).

Fisiune nucleară: ruperea (sau fisionarea) nucleelor atomice grele în tipuri mai uşoare de *nuclee*.

Fizica energiilor înalte: fizica *particulelor elementare*, numită astfel din cauza necesităţii de a folosi fascicule de particule la energii înalte.

Forţă de culoare: forţa dintre *cuarci* şi *gluoni*.

Forţă electromagnetică: forţele electrice şi magnetice resimţite de o particulă încărcată electric se ştie acum că sunt manifestări diferite ale unei forţe comune: forţa electromagnetică.

Forţă electroslabă: *forţele electromagnetică şi slabă* se ştie acum că sunt manifestări diferite ale unei forţe comune: forţa electroslabă.

Forţe de schimb: forţele dintre *particulele elementare* apar prin schimbul unor particule elementare. Astfel, *forţa electromagnetică* se datorează schimbului de *fotoni*, iar *forţa de culoare* dintre *cuarci* se datorează schimbului de *gluoni*.

Forţa nucleară tare: forţa dominantă între *hadroni*. E răspunzătoare, de exemplu, de legarea *nucleonilor* în *nucleu*. Este acum privită ca o formă a unei forţe fundamentale, *forţa de culoare*, care acţionează între *cuarcii* ce alcătuiesc nucleonii — cam în felul în care forţa ce leagă *atomii* în *molecule* e „prelungirea" forţei electrostatice care acţionează în interiorul fiecărui atom între electroni şi nucleu.

Forţa slabă: una dintre forţele fundamentale din natură, răspunzătoare, de exemplu, de anumite tipuri de *dezintegrări nucleare radioactive*. Se transmite între *hadroni* şi *leptoni* prin schimbul de *particule W* şi *Z*.

Foton: particulă, sau *cuantă*, a luminii şi a altor forme de *radiaţii electromagnetice*. Schimbul de fotoni este responsabil pentru *forţa electromagnetică*.

Frecvenţă: numărul de oscilaţii sau cicluri ale unei mişcări periodice într-o unitate de timp.

Funcţie de undă (Ψ): expresie matematică folosită în *teoria cuantică* pentru a descrie mişcarea unei particule. Este folosită pentru a evalua probabilitatea de a găsi particula într-o regiune dată din spaţiu la un timp dat, cu anumite valori ale caracteristicilor sale.

Fuziune nucleară: construcţia unor *nuclee* atomice mai complexe prin fuziunea nucleelor uşoare.

Galaxie: colecţie de stele legate gravitaţional ce cuprinde în mod tipic 100 de miliarde de stele. În universul observabil există aproximativ 100 de miliarde de galaxii.

Gaură neagră: regiune din univers unde densitatea foarte mare de materie a creat un *câmp* gravitaţional atât de puternic încât nici măcar lumina nu poate ieşi.

Gluon: particula care transmite *forţa tare de culoare*. Există opt tipuri de gluoni.

Hadron: numele colectiv dat particulelor care resimt *forţa nucleară tare*, de exemplu *protonii* şi *pionii*.

Heliu: al doilea *element chimic* în ordinea greutății, *atomii* săi conținând doi *electroni*, iar *nucleul* său fiind cunoscut sub numele de *particulă alfa*.

Hidrogen: cel mai ușor *element chimic*, având numai un *electron* și un *nucleu* format dintr-un singur *proton*.

Impuls: *masa* înmulțită cu viteza.

Interferența undelor: atunci când maximele și minimele mai multor fascicule de unde se suprapun în aceeași regiune din spațiu, perturbațiile se adună. Dacă maximele și minimele a două fascicule coincid, interferența rezultantă se numește interferență constructivă; dacă maximele unui fascicul coincid cu minimele celuilalt, atunci avem interferență distructivă. Interferența dă naștere unor figuri specifice în intensitatea rezultantă a undelor, ceea ce poate pune în evidență comportamentul ondulatoriu al particulelor.

Ioni: *atomi* care au câștigat sau au pierdut un *electron*, având astfel sarcina electrică totală negativă, respectiv pozitivă.

Izospin (I_z)**:** *număr cuantic* pe care îl au particulele elementare și care este legat de *sarcina* lor *electrică*. E numit astfel deoarece din punct de vedere matematic se comportă într-un mod asemănător cu *spinul* din *teoria cuantică*.

Lege de conservare: o lege din fizică ce afirmă că totalul cantității unei mărimi (de exemplu, *sarcina electrică, numărul barionic* etc.) rămâne neschimbat într-o interacție dintre particule.

Lepton: nume colectiv ce desemnează particulele care resimt numai *forța slabă*, nu și *forța nucleară tare*. Cu alte cuvinte, leptonii nu au *sarcină de culoare*. Din această categorie fac parte *electronii, miuonii* și *particulele tau*, împreună cu *neutrinii* asociați.

Lepton tau: *lepton* încărcat ce aparține *generației* a treia.

Lungime de undă: distanța dintre două maxime sau dintre două minime învecinate dintr-un tren de unde.

Marea unificare: propunere conform căreia *forțele electromagnetică, slabă* și *tare* ar putea fi manifestări diferite ale unei singure forțe.

Masă: proprietate intrinsecă a particulelor care determină răspunsul lor la o forță de accelerație. Cunoscută și sub numele de masă inerțială.

Materie întunecată: termen generic ce cuprinde întreaga masă a universului care nu este luminoasă. Prezența ei poate fi dedusă din studiul mișcării *galaxiilor* și roiurilor de galaxii.

Mecanică matriceală: formulare alternativă a *teoriei cuantice*. Se bazează pe folosirea matricilor.

Mezon: un *hadron* care constă dintr-un *cuarc* și un anticuarc.

Moleculă: cea mai mică unitate a unei substanţe chimice, alcătuită din mai mulţi *atomi* legaţi împreună.

Monopol magnetic: particulă a cărei existenţă a fost prezisă teoretic, dar încă nu a fost descoperită, având doar unul din polii magnetici (fie nord, fie sud).

Moartea termică a universului: ideea că în cele din urmă toate stelele îşi vor epuiza combustibilul nuclear care le menţine în stare de ardere, moment în care universul va deveni rece şi lipsit de viaţă.

Modelul Standard (Teoria Standard): teoria care reuneşte *cuarcii, leptonii* şi forţele dintre ei, general acceptată drept cel mai bun mod actual de a înţelege *fizica energiilor înalte.*

Neutrin: particulă neutră electric cu *masă* foarte mică, eventual zero. Există trei varietăţi, câte una pentru fiecare tip de *lepton.*

Neutron: constituent neutru al *nucleului* atomic, alcătuit la rândul lui din trei *cuarci.*

Nor de probabilitate: termen sugestiv desemnând distribuţia de probabilitate matematică ce determină şansa de a găsi un *electron* în diferite regiuni în jurul *nucleului.*

Nucleon: termen generic pentru *protoni* şi *neutroni* — particulele care alcătuiesc *nucleul* atomic.

Nucleosinteză: procesul de *fuziune nucleară* prin care s-au format *nucleele* atomice şi *elementele chimice.* Nucleosinteza primordială a avut loc în condiţiile violente din primele câteva minute după *big bang*; nucleosinteza stelară este procesul de fuziune care are loc în interiorul fierbinte al stelelor; nucleosinteze explozive apar în timpul exploziei unei *supernove.*

Nucleu: partea centrală a unui *atom*, constând din *protoni* şi *neutroni.*

Număr barionic (*B*): *număr cuantic* atribuit *particulelor elementare*, conform căruia *cuarcii* au $B = +\,{}^{1}/_{3}$, iar anticuarcii $B = -\,{}^{1}/_{3}$.

Număr cuantic: o proprietate, de pildă *numărul barionic* sau *numărul leptonic*, pe care o au *particulele elementare.* În general se conservă în reacţiile dintre particule.

Număr leptonic: *număr cuantic* ce se conservă, asociat cu *leptonii.*

Orizontul evenimentelor: suprafaţă imaginară în spaţiul din jurul unei *găuri negre* având proprietatea că nimic din ce se află în interiorul acelei suprafeţe, nici măcar lumina, nu poate ieşi vreodată.

Particulă: denumire nu foarte precisă, care desemnează atât *hadronii* (cum ar fi *protonii* sau *pionii*), cât şi entităţile fundamentale — *cuarcii* şi *leptonii.*

Particulă alfa: un nucleu de heliu constând din doi *protoni* şi doi *neutroni* legaţi împreună.

Particule elementare: particulele fundamentale din care este alcătuită întreaga materie. Strict vorbind, termenul se aplică *cuarcilor* şi *leptonilor*, dar în sens mai puţin precis se foloseşte în legătură cu *protonii*, *neutronii*, alţi *barioni* şi *mezonii*.

Particule W şi Z (W, Z): particule ce transmit *forţa slabă* între *hadroni* şi *leptoni*. Particulele W sunt încărcate electric, Z este neutră electric.

Pion: cel mai uşor *mezon*. Pionii încărcaţi electric se dezintegrează într-un *miuon* şi un *neutrin*, iar cel neutru se dezintegrează în doi *fotoni*.

Pozitron: *antiparticula electronului*.

Principiul de echivalenţă: enunţă echivalenţa dintre acceleraţie şi gravitaţie. Aceasta conduce la observaţia că, de exemplu, toate obiectele cad la fel de repede sub acţiunea gravitaţiei. Este o consecinţă a teoriei generale a *relativităţii* a lui Einstein.

Principiul de excluziune: principiul enunţat de Pauli, conform căruia doi *electroni* nu pot ocupa aceeaşi stare cuantică.

Proton: particulă încărcată electric pozitiv, constituentă a *nucleului* atomic, alcătuită la rândul ei din trei *cuarci*.

Quasar: *galaxie* cu un centru foarte activ şi luminos. Quasarii s-au format în trecutul îndepărtat al istoriei universului şi pot fi observaţi la mare distanţă, datorită timpului necesar luminii lor pentru a ajunge la noi.

Radiaţia cosmică de fond: vestigii ale *big bang*-ului, care între timp s-au răcit. Se găseşte sub formă de radiaţie termică de lungimi de undă de ordinul microundelor, corespunzătoare temperaturii de 2,7 K.

Radiaţie electromagnetică: radiaţia emisă atunci când o particulă încărcată electric este accelerată.

Raze gama: formă de *radiaţie electromagnetică* de foarte înaltă frecvenţă.

Raze X: *radiaţie electromagnetică* penetrantă de *lungime de undă* scurtă.

Relativitate, teoria generală: teoria lui Einstein în care forţele gravitaţionale sunt tratate matematic drept curbări ale *spaţiu-timpului*.

Relativitate, teoria specială: teoria lui Einstein în care spaţiul şi timpul sunt încorporate într-un *spaţiu-timp* cvadridimensional. Conduce la efecte evident diferite faţă de cele la care ne-am aştepta conform fizicii clasice atunci când avem de-a face cu viteze apropiate de viteza luminii.

Relaţia de incertitudine a lui Heisenberg: afirmă că nu se pot măsura simultan cu precizie absolută poziţia, q, şi *impulsul*, p, ale unei

particule. Produsul nedeterminărilor este o cantitate finită de ordinul de mărime al *constantei lui Planck, h:*

$$\Delta p_{\text{particulă}} \times \Delta q_{\text{particulă}} \cong h.$$

Reprezentare SU(3): caracteristică ce provine din teoria grupurilor — domeniul matematicii care descrie simetriile. S-a dovedit că e relevantă pentru clasificarea *hadronilor*, dând naştere la familii de octeţi şi decupleţi de particule înrudite. Aceste reprezentări de simetrie reflectă structura internă de *cuarci* a hadronilor.

Rupere spontană de simetrie: situaţie în care o anumită simetrie a unui sistem fizic se pierde la trecerea către o stare energetică mai joasă. De exemplu, apa lichidă este simetrică în raport cu direcţiile din spaţiu, dar, răcindu-se şi formând cristale de gheaţă, apar direcţii de cristalizare privilegiate. Aceste direcţii nu au semnificaţii profunde, ele sunt alese la întâmplare, în mod spontan. Ele maschează faptul că apa este fundamental simetrică. La fel se crede că *forţele tari, electromagnetice* şi *slabe* posedă o simetrie care se manifestă numai la energii mai mari decât cele întâlnite curent.

Sarcină: particulele posedă diferite tipuri de sarcini (*electrice, de culoare, slabe*), acestea fiind răspunzătoare pentru felul în care particulele interacţionează între ele.

Sarcină de culoare: sursa *forţei de culoare* dintre *cuarci* şi *gluoni*.

Sarcină electrică: proprietatea particulelor responsabilă pentru forţele electrice care acţionează între ele. Apare sub două forme: pozitivă şi negativă. Sarcinile de acelaşi semn se resping, cele de semn opus se atrag. *Protonii*, de exemplu, au o unitate de sarcină pozitivă, iar *electronii* au o unitate de sarcină negativă.

Simetrie: după cum un cerc este o figură geometrică simetrică deoarece poate fi rotit fără să se producă vreo schimbare, la fel despre o teorie fizică se spune că are proprietăţi de simetrie dacă anumite operaţii pot fi făcute asupra ei fără s-o schimbe.

Sincrotron: tip de *accelerator* de particule în care intensitatea forţelor electrice de accelerare şi a celor magnetice de ghidaj sunt ajustate sincron pentru a se potrivi cu caracteristicile mereu modificate ale particulelor în mişcare.

Spaţiu-timp: continuumul cvadridimensional în care au fost încorporate spaţiul şi timpul, aşa cum este prezentat de teoria *relativităţii* speciale.

Spectroscop: aparat care descompune *radiaţia electromagnetică* după *lungimile de undă* constituente.

Spectru: descompunere a *radiației electromagnetice* după *lungimile de undă* care o compun. Deoarece pentru *electronii* din *atomi* sunt permise numai anumite valori ale energiei, radiația emisă de electroni atunci când trec de pe un nivel energetic pe altul prezintă spectre caracterizate prin lungimi de undă discrete — cele corespunzătoare diferențelor de energie dintre starea inițială și cea finală.

Spin: momentul cinetic intrinsec pe care îl posedă unele particule.

Stări de energie (discrete): conform *teoriei cuantice* unei particule i se asociază o undă a cărei *lungime de undă* determină *impulsul* particulei și deci energia ei. Pentru această undă, la fel ca pentru oricare altă undă, lungimea de undă poate lua doar anumite valori atunci când este mărginită într-o regiune a spațiului. Astfel, o particulă închisă într-o regiune (de exemplu un *electron* în *atom*) poate avea doar anumite valori discrete ale energiei.

Stea gigantică roșie: stadiu târziu în dezvoltarea unei stele, când crește în dimensiuni și suprafața sa devine roșie.

Stea pitică albă: miezul interior fierbinte și alb al unei stele iese la iveală după ce a trecut de stadiul de *gigantică roșie* și și-a pierdut învelișul exterior. Cu timpul, se răcește și devine cenușă rece.

Stranietate (*s*)**:** *numărul cuantic* care stabilește câți cuarci cu *aroma* stranietate sunt prezenți.

Supernova: dezintegrarea explozivă a unei stele foarte masive, care poate duce uneori la colapsul miezului său și la formarea unei *găuri negre*.

Supersimetrie: conform acestei idei, particulele de schimb care acționează ca transmițători ai unor forțe (de exemplu, *gluonii* și *fotonii*) și particulele care fac schimbul (de exemplu, *cuarcii* și *leptonii*) nu au proprietăți și roluri atât de diferite pe cât se crede de regulă.

Superstring (supercoardă): recent postulata idee conform căreia *cuarcii* și *leptonii* nu sunt punctiformi, ci constau din corzi extrem de mici care vibrează.

Teoria cuantică: modul nostru modern de a înțelege comportarea lumii la dimensiuni foarte mici — de ordinul de mărime al atomilor sau mai mici. Uneori se mai numește și mecanică cuantică sau mecanică ondulatorie și răspunde nevoii de a descrie radiația în termeni ondulatorii atunci când se deplasează dintr-un loc în altul, dar în termeni de particulă atunci când interacționează cu materia schimbând energie și *impuls*.

Teoria inflaționară: teorie care spune că în primele 10^{-32} secunde după momentul *big bang*-ului universul a trecut printr-o fază de expansiune extrem de rapidă pentru ca apoi să se stabilizeze la actuala vi-

teză de expansiune. Deşi scurtă, perioada de inflaţie a făcut ca *densitatea* universului să aibă *valoarea critică*, determinând astfel soarta universului.

Teoria stării staţionare: pentru un timp teoria rivală a *big bang*-ului. Ea susţinea că, pe măsură ce *galaxiile* se îndepărtează de orice regiune a spaţiului, locul lor ar fi luat de materie nouă, creată spontan. Aceasta s-ar aduna pentru a forma noi stele şi galaxii, care la rândul lor s-ar îndepărta în spaţiu. Astfel, universul şi-ar păstra caracteristicile generale un timp nedefinit. Această teorie a fost acum abandonată, datorită dovezilor copleşitoare în favoarea big bang-ului.

Teorii unificate: încercări de a explica diversele forţe ca manifestări diferite ale unei forţe comune. De exemplu, forţa electrostatică şi cea magnetică nu sunt decât aspecte diferite ale *forţei electromagnetice;* la rândul ei, aceasta se combină cu *forţa slabă* pentru a da *forţa electroslabă. Marea unificare* caută să reunească forţa electroslabă cu forţa tare. Se speră ca în cele din urmă să fie încorporată şi gravitaţia.

Top (*t*)**:** *număr cuantic* ce stabileşte câţi *cuarci* cu aroma top sunt prezenţi.

Unde de probabilitate: nume dat undelor matematice folosite pentru a determina probabilitatea de a găsi o *cuantă* într-o regiune dată a spaţiului la un moment de timp dat.

Univers în expansiune: de la *big bang* universul este în expansiune. Roiurile de *galaxii* se îndepărtează unele de altele conform Legii lui Hubble, potrivit căreia cu cât o galaxie este mai îndepărtată, cu atât viteza ei de îndepărtare e mai mare.

Viteza luminii (*c*)**:** lumina (ca orice particulă fără masă) se deplasează prin vid cu o viteză de 300 000 km/secundă. Potrivit teoriei speciale a *relativităţii*, aceasta e aceeaşi pentru toţi observatorii care se află în mişcare uniformă relativă. (Viteza poate diferi de această valoare în prezenţa unui *câmp* gravitaţional sau la trecerea prin materie.)

Cuprins

Cuvânt înainte al autorului ediției revizuite, Russell Stannard 5
Prefața lui Gamow la *Cărticica domnului Tompkins* 9

1 Limita de viteză în oraș 11
2 Lecția profesorului despre relativitate care a provocat visul domnului Tompkins 21
3 Domnul Tompkins își ia concediu 36
4 Notițele de la lecția profesorului despre spațiul curb 58
5 Domnul Tompkins vizitează un univers închis 73
6 Opera cosmică 84
7 Găuri negre, moarte termică și flăcări 96
8 Biliard cuantic 106
9 Safari cuantic 128
10 Demonul lui Maxwell 138
11 Tribul vesel al electronilor 156
$11^1/_2$ Restul lecției precedente, când domnul Tompkins a ațipit 171
12 În interiorul nucleului 180
13 Cioplitorul în lemn 191
14 Goluri în nimic 203
15 Vizitând „spărgătorul de atomi“ 212
16 Ultima lecție a profesorului 245
17 Epilog 261
Glosar 266

Redactor
VLAD ZOGRAFI

Tehnoredactor
LUMINIŢA SIMIONESCU

Corector
IOANA CUCU

DTP
DUMITRU OLTEANU

Apărut 2007
BUCUREŞTI – ROMÂNIA

Lucrare executată la C.N.I. „CORESI" S.A.